



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS

Т. 24, № 03
Vol. 24, No. 03

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial board

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

Olga G. 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. Ismurov, 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Агротехнологии

- А. А. Бетехтина, О. А. Некрасова, А. В. Малахеева, С. А. Черепанов, В. В. Валдайских* 298
Изменение свойств почвы и морфометрических параметров пшеницы при внесении биоугля: вегетационный эксперимент
- С. А. Владимирова, И. И. Петрова, М. П. Лукина* 309
Изучение сортов каллистепуса китайского (*Callistephus chinensis* L.) в условиях криолитозоны
- А. К. Королева, М. К. Деревягина, В. А. Бирюкова, О. Б. Поливанова, О. Г. Казаков* 319
Оценка устойчивости перспективных гибридов цветного картофеля к фитофторозу
- А. Ю. Першаков, Р. И. Белкина, Е. А. Пороховинова* 338
Урожайность и качество семян коллекционных образцов льна масличного
- Л. В. Юшкевич, Д. Н. Ющенко, А. Г. Щитов, С. П. Кашинская* 348
Сравнительная агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири

Биология и биотехнологии

- Д. В. Митрофанов, Н. В. Будникова* 358
Физико-химические показатели гомогената трутневого расплода, адсорбированного на безлактозных адсорбентах в процессе хранения
- А. С. Федотова, Г. В. Макарская* 368
Хемилуминесцентные характеристики периферической крови при облучении *in vitro* в диапазоне доз 100–500 мГр

Экономика

- А. А. Дубовицкий, Э. А. Климентова* 381
Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы
- В. В. Калицкая, Л. А. Степанова, О. А. Рыкалина, Е. М. Кот* 392
Исследование влияния изменений налогового законодательства на поступление платежей в бюджет от предприятий сельскохозяйственной отрасли
- Л. Е. Красильникова, О. А. Руцицкая, Д. А. Баландин, Т. И. Кружкова* 404
Отраслевое развитие сельских территориальных систем России в условиях современной экономической неопределенности
- Е. А. Рахимова* 417
Подходы к формированию концепции цифровой трансформации садоводства Российской Федерации
- И. А. Родионова, М. А. Болохонов, О. А. Васильева, В. В. Торопова* 430
Оценка и направления повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства
- Е. Н. Ялунина, Н. К. Прядилина, Е. А. Скворцов* 440
Совершенствование процесса принятия управленческих решений в сельском хозяйстве с применением систем искусственного интеллекта

Contents

Agrotechnologies

- A. A. Betekhtina, O. A. Nekrasova, A. V. Malakheeva, S. A. Cherepanov, V. V. Valdayskikh* 298
Changes in soil properties and morphometric parameters of wheat when applying biochar: vegetation experiment
- S. A. Vladimirova, I. I. Petrova, M. P. Lukina* 309
Study of varieties of chinese callistephus (*Callistephus chinensis* L.) in cryolithozone conditions
- A. K. Koroleva, M. K. Derevyagina, V. A. Biryukova, O. B. Polivanova, O. G. Kazakov* 319
Resistance assessment of promising colored potato hybrids to late blight
- A. Yu. Pershakov, R. I. Belkina, E. A. Porokhovinova* 338
Productivity and quality of seeds of collection samples of oil flax
- L. V. Yushkevich, D. N. Yushchenko, A. G. Shchitov, S. P. Kashinskaya* 348
Comparative agrotechnological assessment of spring wheat cultivation in the southern forest-steppe of Western Siberia

Biology and biotechnologies

- D. V. Mitrofanov, N. V. Budnikova* 358
Physico-chemical parameters of drone brood homogenate adsorbed on lactose-free adsorbents during storage
- A. S. Fedotova, G. V. Makarskaya* 368
Chemiluminescent characteristics of peripheral blood under *in vitro* irradiation in the dose range of 100–500 mGy

Economy

- A. A. Dubovitskiy, E. A. Klimentova* 381
Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources
- V. V. Kalitskaya, L. A. Stepanova, O. A. Rykalina, E. M. Kot* 392
Investigation of the impact of changes in tax legislation on the receipt of payments to the budget from agricultural enterprises
- L. E. Krasilnikova, O. A. Ruschitskaya, D. A. Balandin, T. I. Kruzhkova* 404
Sectoral development of rural territorial systems of Russia in conditions of modern economic uncertainty
- E. A. Rakhimova* 417
Approaches to developing the concept of digital transformation of horticulture in the Russian Federation
- I. A. Rodionova, M. A. Bolokhonov, O. A. Vasilyeva, V. V. Toropova* 430
Assessment and directions of increasing the investment attractiveness of agriculture
- E. N. Yalunina, N. K. Pryadilina, E. A. Skvortsov* 440
Improving the process of making management decisions in agriculture using artificial intelligence systems

Изменение свойств почвы и морфометрических параметров пшеницы при внесении биоугля: вегетационный эксперимент

А. А. Бетехтина✉, О. А. Некрасова, А. В. Малахеева, С. А. Черепанов, В. В. Валдайских
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

✉E-mail: A.A.Betekhtina@urfu.ru

Аннотация. Цель работы – оценить влияние биоугля на физико-химические свойства почвы и морфометрические и некоторые химические характеристики пшеницы твердой (*Triticum durum* L.) и по состоянию растений косвенно оценить доступность макроэлементов в системе почва – биоуголь. **Методы.** Биоуголь получили из березового опила при температуре 500 °С и внесли в количестве 2 % от массы воздушно-сухой почвы. **Результаты.** В результате проведения вегетационного эксперимента показано, что внесение биоугля в тяжелосуглинистую агродерново-подзолистую почву привело к увеличению значений pH водной вытяжки и содержания общего азота, но при этом – к значительному снижению содержания общего органического углерода. Несмотря на улучшение некоторых почвенных характеристик, внесение биоугля не повлияло на высоту растений, массу листьев, массу корней, содержание азота и фосфора в листьях и зерне, а также отрицательно сказалось на общей массе растений и массе зерновок, которые снизились соответственно на 15 % и 18 % по сравнению с контролем. Внесение биоугля оказало влияние на строение корневой системы пшеницы: ее разветвленность увеличилась, в то время как диаметр поглощающих корней достоверно уменьшился. В эксперименте также отмечен рост микоризации корней за счет функциональных структур гриба – арбускул и везикул. **Научная новизна** заключается в том, что впервые в результате вегетационного эксперимента по внесению биоугля из березового опила в тяжелосуглинистую агродерново-подзолистую почву показано, что высокое содержание питательных веществ в почве с биоуглем еще не означает их доступность для растений. Полученные в работе результаты могут быть использованы для разработки технологий использования биоугольных мелиорантов в различных почвах.

Ключевые слова: биоуголь, агродерново-подзолистая почва, физико-химические характеристики почвы, *Triticum durum*, азот и фосфор в растениях, корневая система, поглощающие корни, арбускулярная микориза

Для цитирования: Бетехтина А. А., Некрасова О. А., Малахеева А. В., Черепанов С. А., Валдайских В. В. Изменение свойств почвы и морфометрических параметров пшеницы при внесении биоугля: вегетационный эксперимент // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 298–308. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-298-308>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2023-0023).

Дата поступления статьи: 28.07.23, **дата рецензирования:** 17.10.2023, **дата принятия:** 14.12.2023.

Changes in soil properties and morphometric parameters of wheat when applying biochar: vegetation experiment

A. A. Betekhtina[✉], O. A. Nekrasova, A. V. Malakheeva, S. A. Cherepanov, V. V. Valdayskikh
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail: A.A.Betekhtina@urfu.ru

Abstract. The purpose of this work is to evaluate the effect of biochar on the physico-chemical properties of the soil and morphometric and some chemical characteristics of durum wheat (*Triticum durum* L.) and indirectly assess the availability of macronutrients in the soil-biochar system based on the state of plants. **Methods.** Biochar was obtained from birch sawdust at a temperature of 500 °C and was applied in the amount of 2 % of the weight of air-dry soil. **Results.** As a result of the vegetation experiment, it was revealed that the application of biochar led to changes in the properties of heavy-loamy agro-soddy-podzolic soil – a significant increase in the pH values of the water extract and the total nitrogen content, but at the same time – to a significant decrease in the content of total organic carbon content. Despite the improvement of some soil characteristics, the application of biochar did not affect the height of plants, leaf weight, root weight, nitrogen and phosphorus content in leaves and yield, and also negatively affected the total weight of plants and the weight of grains, which decreased by 15 % and 18 %, respectively, compared to control. The application of biochar had an impact on the structure of the wheat root system – its branching increased, while the diameter of the absorbing roots significantly decreased. The experiment also showed an increase in mycorrhization of roots due to the functional structures of the fungus – arbuscules and vesicles. **The scientific novelty** lies that the application of biochar from birch sawdust, despite the improvement of some physico-chemical characteristics of the soil, negatively affects the growth of wheat. The reaction of the aboveground parts of plants and the root system indirectly indicates a decrease in the availability of nutrients in the soil-biochar system. The results obtained in the work can be used to develop technologies for the use of biochar meliorants in various soils.

Keywords: biochar, agro-soddy-podzolic soil, soil physico-chemical characteristics, *Triticum durum*, nitrogen and phosphorus in plants, root system, absorbing roots, arbuscular mycorrhiza

For citation: Betekhtina A. A., Nekrasova O. A., Malakheeva A. V., Cherepanov S. A., Valdayskikh V. V. Changes in soil properties and morphometric parameters of wheat when applying biochar: vegetation experiment. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 298–308. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-298-308>. (In Russ.)

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education (topic No. FEUZ-2023-0023).

Date of paper submission: 28.07.23, **date of review:** 17.10.2023, **date of acceptance:** 14.12.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

С целью регуляции содержания парниковых газов в атмосфере появилась необходимость эффективной секвестрации углерода, в том числе в почвах сельскохозяйственного назначения [1]. С точки зрения совместного решения двух задач – секвестрации углерода и улучшения физико-химических свойств почвы – эффективно внесение в почву биоугля. Биоуголь – это углеродсодержащий продукт, получаемый при нагревании биомассы в среде с ограниченным доступом кислорода (пиролизе). Внесение биоугля неоднозначно влияет на свойства почвы и, соответственно, на рост и развитие растений. Некоторые экспериментальные данные свидетельствуют, что добавление биоугля оказывает стимулирующее воздействие на продуктивность сельскохозяйственных культур [2; 3]. В других ис-

следованиях показан нейтральный или негативный эффект [4]. Это может быть обусловлено комплексом причин. Во-первых, биоуголь содержит питательные вещества с различной степенью доступности, которые могут выступать в качестве прямого источника биогенных элементов [5]. Во-вторых, биоуголь может изменять доступность питательных веществ за счет изменения pH почвы, микробной активности почвы и путем удержания питательных веществ за счет катионного обмена и/или сорбции на пористой поверхности. Также за счет высокой пористости и удельной площади гидрофильной поверхности биоуголь способен удерживать влагу [6]. В-третьих, биоуголь может снижать доступность питательных веществ и содержать токсичные вещества для растений [1]. Получены многочисленные данные по реакции разных типов почв и ви-

дов растений на внесение биоуглей разных типов. Прогнозирование поведения системы почва – биоуголь – растение в конкретных региональных условиях на основе уже опубликованных данных не гарантирует успеха. Для выявления эффективности внесения биоугля для улучшения агрохимических свойств почв необходимо учитывать много факторов, в том числе доступность питательных веществ для растений в биоугле, в почве и в системе биоуголь – почва. Высокое содержание питательных веществ в почве с биоуглем еще не означает их доступность для растений. Об уменьшении доступности питательных веществ можно судить по снижению продуктивности растений, в том числе содержания макроэлементов в листьях и плодах [7], а также по реакции корневой системы. Рост растений наиболее отзывчив на доступность в почве азота, фосфора и калия. В ответ на дефицит питательных веществ наряду со снижением биомассы растений и содержания в ней азота и фосфора увеличиваются микоризообразование, разветвленность корневой системы, доля подземной биомассы в общей массе и удельная длина корней, а также происходит снижение диаметра корня [8–10].

Цель настоящей работы – оценить влияние биоугля на физико-химические свойства почвы и

морфометрические и некоторые химические параметры пшеницы твердой (*Triticum durum* L.) и по состоянию растений косвенно оценить доступность макроэлементов в системе почва – биоуголь.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент проводили в теплице Уральского Федерального университета с 28.06.2019 по 20.08.2019. Растения *Triticum durum* выращивали в вегетационных стаканах, заполненных почвой из гумусового горизонта (глубина 0–20 см) агродерново-подзолистой почвы.

Растения выращивали в течение 53 суток при температуре 20 ± 7 °C и относительной влажности почвы 60 %. Изучали действие биоугля на физико-химические свойства почвы и рост пшеницы. Биоуголь вносили в дозе 0 % (контроль) и 2 % (эксперимент) от массы воздушно-сухой почвы. Для каждого варианта опыта было заложено по 5 повторностей, которые располагали в теплице случайным образом.

Биоуголь был получен из березового опила путем пиролиза при 540 °C в электропечи для лабораторного коксования (ГОСТ 9521-74). Нагрев биомассы осуществляли от 100 °C, скорость нагрева равнялась 5 °C/мин, продолжительность нагрева до 300 °C составляла 60 мин., до 500 °C – 100 мин.

Таблица 1
Физико-химические характеристики исходной почвы, биоугля и почвы с внесенным биоуглем (среднее $\pm$ ошибка среднего)

Показатель	Объекты исследования		
	Исходная почва	Биоуголь	Почва + биоуголь
Плотность, г/см ³	0,78 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,002	0,77 $\pm$ 0,01
Плотность твердой фазы, г/см ³	1,75 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,04	1,68 $\pm$ 0,05
pH _{H2O}	4,92 $\pm$ 0,04	6,76 $\pm$ 0,02	4,94 $\pm$ 0,04
pH _{KCl}	4,16 $\pm$ 0,01	5,57 $\pm$ 0,07	4,19 $\pm$ 0,01
C _{орг.} , %	7,11 $\pm$ 0,08	37,79 $\pm$ 2,00	7,75 $\pm$ 0,07
N _{общ.} , %	0,46 $\pm$ 0,01	0,22 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,01
K ₂ O, мг / 100 г почвы	18,8 $\pm$ 0,4	105,5 $\pm$ 1,7	20,3 $\pm$ 0,4
P ₂ O ₅ , мг / 100 г почвы	7,8 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,1	8,0 $\pm$ 0,4

Table 1
Physico-chemical characteristics of the initial soil, biochar and soil with introduced biochar (average $\pm$ average error)

Indicator	Objects of research		
	Initial soil	Biochar	Soil + biochar
Volumeweight, g/cm ³	0.78 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.002	0.77 $\pm$ 0.01
Density of the solid phase, g/cm ³	1.75 $\pm$ 0.04	0.51 $\pm$ 0.04	1.68 $\pm$ 0.05
pH _{H2O}	4.92 $\pm$ 0.04	6.76 $\pm$ 0.02	4.94 $\pm$ 0.04
pH _{KCl}	4.16 $\pm$ 0.01	5.57 $\pm$ 0.07	4.19 $\pm$ 0.01
TOC, %	7.11 $\pm$ 0.08	37.79 $\pm$ 2.00	7.75 $\pm$ 0.07
TON, %	0.46 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.01	0.45 $\pm$ 0.01
K ₂ O, mg / 100 g of soil	18.8 $\pm$ 0.4	105.5 $\pm$ 1.7	20.3 $\pm$ 0.4
P ₂ O ₅ , mg / 100 g of soil	7.8 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.1	8.0 $\pm$ 0.4

Таблица 2

Физико-химические характеристики почвы без внесения и с внесением биоугля после выращивания пшеницы (среднее $\pm$ ошибка среднего)

Показатель	Варианты опыта			
	Почва		Почва с биоуглем	
	Значение показателя	Динамика показателя	Значение показателя	Динамика показателя
Плотность, г/см ³	0,61 $\pm$ 0,01	–0,17	0,58 $\pm$ 0,01	–0,19
Плотность твердой фазы, г/см ³	1,70 $\pm$ 0,04	–0,05	1,65 $\pm$ 0,04	–0,03
pH _{H2O}	4,80 $\pm$ 0,17	–0,12	5,26 $\pm$ 0,02	+0,32
pH _{KCl}	4,23 $\pm$ 0,02	+0,07	4,33 $\pm$ 0,01	+0,14
C _{орг.} , %	6,83 $\pm$ 0,18	–0,28	7,21 $\pm$ 0,12	–0,54
N _{общ.} , %	0,46 $\pm$ 0,01	0	0,50 $\pm$ 0,01	+0,05
K ₂ O, мг / 100 г почвы	5,6 $\pm$ 0,06	–13,1	5,7 $\pm$ 0,1	–14,7
P ₂ O ₅ , мг / 100 г почвы	7,0 $\pm$ 0,6	–0,8	7,6 $\pm$ 0,4	–0,4

Table 2

Physico-chemical characteristics of the soil without and with the application of biochar after wheat cultivation (average $\pm$ average error)

Indicator	Experience options			
	Soil		Soil with biochar	
	Indicator value	Indicator dynamics	Indicator value	Indicator dynamics
Volume weight, g/cm ³	0.61 $\pm$ 0.01	–0.17	0.58 $\pm$ 0.01	–0.19
Density of the solid phase, g/cm ³	1.70 $\pm$ 0.04	–0.05	1.65 $\pm$ 0.04	–0.03
pH _{H2O}	4.80 $\pm$ 0.17	–0.12	5.26 $\pm$ 0.02	+0.32
pH _{KCl}	4.23 $\pm$ 0.02	+0.07	4.33 $\pm$ 0.01	+0.14
TOC, %	6.83 $\pm$ 0.18	–0.28	7.21 $\pm$ 0.12	–0.54
TN, %	0.46 $\pm$ 0.01	0	0.50 $\pm$ 0.01	+0.05
K ₂ O, mg / 100 g of soil	5.6 $\pm$ 0.06	–13.1	5.7 $\pm$ 0.1	–14.7
P ₂ O ₅ , mg / 100 g of soil	7.0 $\pm$ 0.6	–0.8	7.6 $\pm$ 0.4	–0.4

По окончании эксперимента, после выкапывания растений, субстрат исследовали лабораторными методами. Для этого образцы исходной почвы, биоугля, почвы после выращивания пшеницы, а также почвы с внесенным биоуглем после выращивания пшеницы (все в 5 повторностях) подготовили для анализов по стандартной методике. Плотность почвы и плотность твердой фазы почвы определяли в соответствии с ГОСТ 5180-2015; pH – с помощью потенциометра «Анион 4100» (Россия); общий органический углерод (C_{орг.}) – методом мокрого сжигания по Тюрину; общий азот (N_{общ.}) – по Кьельдалю (с использованием оборудования VELP Scientifica) Италия), подвижный фосфор (P₂O₅) – по Кирсанову (с помощью спектрофотометра UV Probe-1650, Япония), подвижный калий (K₂O) – в 0,2 н вытяжке HCl пламенно-фотометрическим методом [11; 12].

Растения выкапывали целиком, высушивали 48 ч при 70 °C, разделяли на органы и взвешивали на аналитических весах Ohaus.

У каждой особи отбирали зрелые и неповрежденные листья и зерновки и тонко измельчали. Содержание азота в растительном материале определяли в трехкратной повторности тем же методом, что и в образцах почвы/биоугля. Содержание общего фосфора определяли спектрофотометрически после мокрого сжигания по Кьельдалю.

Корневые системы отмывали от почвы водой и фиксировали в 70-процентном этиловом спирте. Порядок ветвления определяли для каждого корня в соответствии с центростремительной системой упорядочения, где порядки распределяются от дистальной части [13]. Корни на дистальном конце корневой системы – корни первого порядка – образуются на корнях второго порядка, которые закладываются на корнях третьего порядка.

Затем сегменты корней первого порядка разрезали поперечно на срезы толщиной 20–50 мкм и измеряли диаметр с помощью окулярного микрометра на микроскопе Leica DM 5000 (Leica, Германия) при 150-кратном увеличении.

Таблица 3

Морфометрические и химические характеристики растений *Triticum durum*, выращенных на почве без и с добавлением биоугля (среднее $\pm$ ошибка среднего)

Агротехнологии

Показатели	Варианты опыта	
	Почва	Почва с биоуглем
Морфометрические характеристики надземных органов		
Высота растения, см	76,7 $\pm$ 1,1 a	74,1 $\pm$ 2,4 a
Масса растения, г	4,80 $\pm$ 0,22 a	4,09 $\pm$ 0,17 b
Масса листьев, г	0,34 $\pm$ 0,01 a	0,34 $\pm$ 0,01 a
Масса зерновок, г	1,70 $\pm$ 0,10 a	1,39 $\pm$ 0,11 b
Масса стебля, г	1,64 $\pm$ 0,18 a	1,33 $\pm$ 0,10 a
Химические характеристики надземных органов		
<i>Содержание в листьях</i>		
Азот, %	1,08 $\pm$ 0,08 a	1,29 $\pm$ 0,12 a
Фосфор, мг/г	12,6 $\pm$ 0,9	11,1 $\pm$ 0,7
<i>Содержание в зерне</i>		
Азот, %	3,02 $\pm$ 0,04	2,98 $\pm$ 0,06
Фосфор, мг/г	12,6 $\pm$ 0,3	12,9 $\pm$ 0,4
Морфометрические характеристики корневой системы		
Масса корней, г	1,13 $\pm$ 0,11 a	1,00 $\pm$ 0,11 a
Доля корней в массе растения, %	23,8 $\pm$ 2,6 a	24,4 $\pm$ 2,1 a
Интенсивность микоризации, %	22,7 $\pm$ 1,3 a	32,0 $\pm$ 1,7 b
Встречаемость арбускул, %	15,7 $\pm$ 1,5 a	27,7 $\pm$ 2,0 b
Встречаемость везикул, %	0,27 $\pm$ 0,27 a	2,67 $\pm$ 0,94 b
Диаметр поглощающих корней, мкм	142,4 $\pm$ 6,4 a	138,8 $\pm$ 5,4 b
Порядок ветвления корней, шт.	3	3–4

Примечание. Разные буквы указывают на различия между вариантами, значимые на уровне $p < 0,05$, одинаковые – на отсутствие различий.

Table 3

Morphometric and chemical characteristics of *Triticum durum* plants grown on soil without and with the addition of biochar (mean $\pm$ mean error)

Indicator	Experience options	
	Soil	Soil with biochar
Morphometric characteristics of aboveground organs		
Plant height, cm	76.7 $\pm$ 1.1 a	74.1 $\pm$ 2.4 a
Plant mass, g	4.80 $\pm$ 0.22 a	4.09 $\pm$ 0.17 b
Leaf mass, g	0.34 $\pm$ 0.01 a	0.34 $\pm$ 0.01 a
Grain mass, g	1.70 $\pm$ 0.10 a	1.39 $\pm$ 0.11 b
Stem mass, g	1.64 $\pm$ 0.18 a	1.33 $\pm$ 0.10 a
Chemical characteristics of aboveground organs		
<i>Content in leaves</i>		
Nitrogen, %	1.08 $\pm$ 0.08 a	1.29 $\pm$ 0.12 a
Phosphorus, mg/g	12.6 $\pm$ 0.9	11.1 $\pm$ 0.7
<i>Content in grains</i>		
Nitrogen, %	3.02 $\pm$ 0.04	2.98 $\pm$ 0.06
Phosphorus, mg/g	12.6 $\pm$ 0.3	12.9 $\pm$ 0.4
Morphometric characteristics of the root system		
Root mass, g	1.13 $\pm$ 0.11 a	1.00 $\pm$ 0.11 a
The proportion of roots in the mass of the plant, %	23.8 $\pm$ 2.6 a	24.4 $\pm$ 2.1 a
Mycorrhization intensity, %	22.7 $\pm$ 1.3 a	32.0 $\pm$ 1.7 b
Occurrence of arbuscules, %	15.7 $\pm$ 1.5 a	27.7 $\pm$ 2.0 b
Occurrence of vesicles, %	0.27 $\pm$ 0.27 a	2.67 $\pm$ 0.94 b
Diameter of absorbing roots, microns	142.4 $\pm$ 6.4 a	138.8 $\pm$ 5.4 b
The order of branching roots, pcs.	3	3–4

Note. Different letters indicate differences between variants significant at the level of $p < 0.05$, the same letters – the absence of differences.

У каждой особи отбирали и фиксировали в 70-процентном спирте по одному образцу корневой системы. В каждом образце (у каждой особи) на 15 фрагментах тонких корней первого и второго порядков длиной по 1 см определяли микоризную колонизацию. Корни подвергали мацерации на водяной бане в КОН 30–60 мин. и окрашивали анилиновым синим [14]. На давленных препаратах при увеличении $\times 200$ регистрировали корневые волоски, гифы, арбускулы и везикулы грибов арбускулярной микоризы. Их присутствие определяли в 5 полях зрения микроскопа на каждом сантиметровом фрагменте корней общей длиной более 20 см. Таким образом, всего было 75 полей зрения для особи и 375 для каждого варианта эксперимента. Рассчитывали характеристики развития арбускулярной микоризы: интенсивность формирования или доля полей зрения с соответствующими структурами от общего числа полей зрения: а) арбускул, %; б) везикул, %; в) всех структур, %.

Достоверность различий между вариантами оценивали для количественных параметров, используя двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и критерий Тьюки; для признаков, измеренных в порядковой шкале, – критерий Манна – Уитни. В таблице и на графиках приведены средние значения со стандартной ошибкой.

Результаты (Results)

Агродерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, используемая в эксперименте по выявлению влияния внесения биоугля на ее свойства и выращиваемую пшеницу (таблица 1), имеет благоприятную для произрастания растений объемную массу ($0,8 \text{ г/см}^3$), кислую реакцию среды ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,9$), высокое содержание органического углерода (около 7 %) и общего азота (0,5 %), а также высокую степень обеспеченности подвижными формами калия ($19 \text{ мг / 100 г почвы}$) и среднюю – подвижными формами фосфора ($8 \text{ мг / 100 г почвы}$).

Биоуголь, используемый в вегетационном опыте (см. таблицу 1), имеет в 3 раза меньшую по сравнению с почвой плотность твердой фазы, нейтральную реакцию среды, в среднем на 38 % состоит из углерода, обогащен азотом (0,22 %), содержит большое количество подвижных соединений калия (свыше $100 \text{ мг / 100 г почвы}$) и очень низкое – подвижных соединений фосфора (около $2 \text{ мг / 100 г почвы}$). Внесение биоугля в почву перед выращиванием пшеницы существенно изменило только один показатель – содержание общего органического углерода, которое возросло на 0,64 %.

Сопоставление физико-химических характеристик субстратов после выращивания пшеницы с целью выявления влияния биоугля (таблица 2) показало, что почва с внесенным биоуглем по сравнению с почвой без биоугля характеризуется большими значениями pH как водной, так и соле-

вой вытяжки (5,26 против 4,80 и 4,33 против 4,23 соответственно), более высоким содержанием $\text{C}_{\text{орг.}}$ (7,21 % против 6,83 %), а также $\text{N}_{\text{общ.}}$ (0,50 % против 0,46 %). В то же время содержание общего органического углерода в обоих вариантах снизилось до 6,83 в контроле и 7,21 – в эксперименте. Различия по значениям pH и содержанию общего азота и углерода значимы при $p < 0,01$. В то же время показатели объемной массы, плотности твердой фазы, содержания подвижных соединений K_2O и P_2O_5 в сравниваемых субстратах имеют близкие значения.

Анализ динамики исследуемых физико-химических показателей в эксперименте выявил (см. табл.лицу 2), что выращивание пшеницы привело в обоих вариантах субстрата к незначительному снижению объемной массы (на $0,2 \text{ г/см}^3$) и плотности твердой фазы (на $0,03\text{--}0,05 \text{ г/см}^3$), уменьшению содержания общего органического углерода (на $0,28\text{--}0,54 \%$), подвижных соединений калия (на $13\text{--}15 \text{ мг / 100 г почвы}$) и фосфора (менее $1 \text{ мг / 100 г почвы}$), а также к незначительному (менее чем на 0,1) увеличению потенциальной кислотности.

Внесение биоугля в почву с посевом пшеницы по сравнению с контролем существенно увеличило значения актуальной кислотности (в среднем на 0,32), а также содержание органического азота (в среднем на 0,05 %), в то же время оно привело к потерям органического углерода (в среднем 0,54 %).

Морфометрический анализ надземных органов пшеницы выявил (таблица 3), что внесение биоугля не повлияло на высоту пшеницы, массу листьев и массу корней и отрицательно сказалось на общей массе растения и массе зерновок: масса растения снизилась на 15 %, а зерновок – на 18 % по сравнению с контролем.

Внесение биоугля не оказало существенное влияние на содержание азота и фосфора в листьях и зерне пшеницы (таблица 3).

Морфометрический анализ подземных органов показал (см. таблицу 3), что при внесении биоугля повышаются разветвленность корневой системы и микоризация: в эксперименте число порядков ветвления корней возросло с 3 до 4, а интенсивность микоризации – на 29 %, встречаемость арбускул увеличилась на 80 %, а везикул – в 10 раз. Диаметр корня достоверно снизился в присутствии биоугля, а доля корней в общей биомассе не изменилась.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В проведенном опыте внесение биоугля привело к изменениям свойств почвы – увеличению pH и содержания общего азота, а также снижению содержания общего органического углерода. Полученные результаты сопоставимы с данными других исследований [15; 16]. Снижение кислотности обусловлено тем, что при пиролизе сырья образуются щелочные вещества (карбонаты и оксиды), которые

нейтрализуют ионы водорода в почве, снижая ее кислотность [16]. Увеличение содержания общего азота в почве и pH в кислых почвах при внесении биоугля может благоприятно влиять на рост растений напрямую [5] или за счет косвенных эффектов [17; 18]. В нашем исследовании при внесении биоугля происходило достоверное увеличение содержания общего азота в почве в конце эксперимента. Это может быть связано с тем, что внесение биоугля часто приводит к изменению структуры бактериального сообщества, что сопровождается уменьшением выщелачивания азота и увеличением азот-фиксирующей активности [19–21]. В связи с этим внесение биоугля должно улучшать азотное питание растений, однако в проведенном эксперименте произошло достоверное снижение массы растений и зерновок. Увеличение содержания общего азота в почве не привело также к повышению содержания азота и тесно связанного с ним фосфора в листьях и зерне пшеницы. Это можно объяснить тем, что биоуголь может снижать доступность элементов минерального питания для поглощения корнями [22], поэтому повышение содержания макроэлементов в системе почва – биоуголь не во всех случаях положительно влияет на рост растений. В ряде работ показан нейтральный [23] или даже негативный эффект внесения биоугля на рост растений [4], который может быть связан с тем, что некоторые виды биоугля не только активно поглощают ионы питательных веществ, но и могут быть токсичны из-за содержания смол и маслянистых веществ [24].

Внесение биоугля оказало существенное влияние на потери общего органического углерода в почве, которые в 2 раза превысили таковые в контроле. Обнаруженная убыль органического углерода сопоставима с результатами инкубационного эксперимента [25], в котором в присутствии биоугля была обнаружена повышенная эмиссия углекислого газа, а также минерализация органического вещества почвы.

Внесение биоугля оказало сильное влияние на подземную сферу растений: увеличились разветвленность корневой системы, микоризация корней при достоверном снижении толщины поглощающих корней.

Изменения в морфологии корней и их микоризации могут служить важным индикатором изменений свойств почвы при внесении биоугля [26; 27]. В проведенном эксперименте внесение биоугля вызвало снижение диаметра поглощающих корней

и увеличение порядка ветвления корней, что хорошо согласуется с полученными ранее данными, характеризующими реакцию корней на дефицит элементов минерального питания [8–10]. При этом внесение биоугля способствовало увеличению микоризации корней. Эти изменения происходили в основном за счет увеличения встречаемости структур, ответственных за обмен метаболитами между растением и грибом, – арбускул, а также везикул. Известно, что реакция микоризообразования в присутствии биоугля во многом зависит от вида растения, типа биоугля и почвы, динамики pH почвы и подвижных фосфатов [28], доступности других элементов минерального питания [29] и микробиологической активности [30]. В целом же увеличение микоризации корней зачастую свидетельствует о низкой обеспеченности подвижными фосфатами [31].

Таким образом, внесение биоугля из березового опила изменило состояние почвы и растений. Несмотря на улучшение свойств агродерново-подзолистой почвы, проявившемся в снижении кислотности и увеличении содержания общего азота, растения пшеницы отреагировали на внесение биоугля снижением общей биомассы и массы зерна, проявляя при этом стабильность в высоте растений, массе листьев, стеблей, корней, а также в содержании азота и фосфора в листьях и зерне. При этом произошли существенные перестройки корневой системы пшеницы: уменьшился диаметр поглощающих корней, увеличились разветвленность и микоризация. Подобные изменения морфометрических характеристик растений могут свидетельствовать о снижении доступности питательных веществ в присутствии биоугля. Наши результаты получены при изучении одного типа биоугля, для подтверждения и обобщения данных необходимо оценить больше типов биоуглей.

Понимание процессов, связанных со способностью биоугля удерживать питательные вещества и влиять на их доступность для растений, необходимо для прогнозирования эффекта от внесения биоугля на эффективность использования питательных веществ и увеличение положительного влияния на выращивание сельскохозяйственных культур.

Полученные в работе результаты могут послужить для оценки возможностей использования биоугольных мелиорантов в почвах разных условий формирования.

Библиографический список

1. Кудеяров В. Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах // Агрохимия. 2022. № 12. С. 79–96. DOI: 10.31857/S0002188122120092.
2. Cornelissen G., Jubaedah, Nurida N. L., Hale S. E., Martinsen V., Silvani L., Mulder J. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 634. Pp. 561–568. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.380.

3. Murtaza G., Ahmed Z., Usman M., Tariq W., Ullah Z., Shareef M., Iqbal H., Waqas M., Tariq A., Wu Y., Zhang Z., Ditta A. Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production // *Journal of Plant Nutrition*. 2021. Vol. 44. Iss. 11. Pp. 1677–1691. DOI: 10.1080/01904167.2021.1871746.
4. Meschewski E., Holm N., Sharma B. K., Spokas K., Minalt N., Kelly J. J. Pyrolysis biochar has negligible effects on soil greenhouse gas production, microbial communities, plant germination, and initial seedling growth // *Chemosphere*. 2019. Vol. 228. Pp. 565–576. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.031.
5. Purakayastha T. J., Kumari S., Pathak H. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues // *Geoderma*. 2015. Vol. 239–240. Pp. 293–303. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.009.
6. Mukherjee A., Zimmerman A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures // *Geoderma*. 2013. Vol. 193. Pp. 122–130. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.10.002.
7. Zhang Q., Song Y., Wu Z., Yan X., Gunina A., Kuzyakov Y., Xiong Z. Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation // *Journal of Clean Production*. 2020. Vol. 242. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118435.
8. Craine J. M., Froehle J., Tilman D. G., Wedin D. A., Chapin I. F. S. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients // *Oikos*. 2003. Vol. 93. Iss. 2. Pp. 274–285. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2001.930210.x.
9. Zhu J., Lynch J. P. The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays*) seedlings // *Functional Plant Biology*. 2004. Vol. 31 (10). Pp. 949–958. DOI: 10.1071/FP04046.
10. Bayuelo-Jiménez J. S., Gallardo-Valdéz M., Pérez-Decelis V. A., Magdaleno-Armas L., Ochoa I., Lynch J. P. Genotypic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from the Purhepecha Plateau under contrasting phosphorus availability // *Field Crops Research*. 2011. Vol. 121 (3). Pp. 350–362. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.01.001.
11. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: изд-во МГУ, 1970. 488 с.
12. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. Москва: ГЕОС, 2006. 400 с.
13. Pregitzer K. S., DeForest J. L., Burton A. J., Allen M. F., Ruess R. W., Hendrick R. L. Fine root architecture of nine north American trees // *Ecological Monographs*. 2002. Vol. 72. Iss. 2. Pp. 293–309. DOI: 10.1890/0012-9615(2002)072[0293:FRAONN]2.0.CO;2.
14. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. Москва: Наука, 1981. 232 с.
15. Al-Wabel M. I., Hussain Q., Usman A. R. A., Ahmad M., Abduljabbar A., Sallam A. S., Ok Y. S. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: a review // *Land Degradation & Development*. 2018. Vol. 29. Iss. 7. Pp. 2124–2161. DOI: 10.1002/ldr.2829.
16. Пономарев К. О., Первушина А. Н., Коротаева К. С., Юртаев А. А., Петухов А. С., Табакаев Р. Б., Шаненков И. И. Влияние биоугля на развитие яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и кислотность дерново-подзолистой почвы в Западной Сибири // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2022. Вып. 113. С. 110–137. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-113-110-137.
17. Tesfaye F., Liu X., Zheng J., Cheng K., Bian R., Zhang X., Li L., Drosos M., Joseph S., Pan G. Could biochar amendment be a tool to improve soil availability and plant uptake of phosphorus? A meta-analysis of published experiments // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. No. 26. Pp. 34108–34120. DOI: 10.1007/s11356-021-14119-7.
18. Curaqueo G., Roldán A., Mutis A., Panichini M., Martín A. P.-S., Meier S., Mella R. Effects of biochar amendment on wheat production, mycorrhizal status, soil microbial community, and properties of an Andisol in Southern Chile // *Field Crops Research*. 2021. Vol 273 (1). Article number 108306. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108306.
19. Gorovtsov A. V., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Perelomov L. V., Soja G., Zamulina I. V., Rajput V. D., Sushkova S. N., Mohan D., Yao J. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil // *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. Vol. 42 (8). Pp. 2495–2518. DOI: 10.1007/s10653-019-00412-5.
20. Ahmad Z., Mosa A., Zhan L., Gao B. Biochar modulates mineral nitrogen dynamics in soil and terrestrial ecosystems: A critical review // *Chemosphere*. 2021. Vol. 278. Article number 130378. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130378.
21. Yin S., Suo F., Kong Q., You X., Zhang X., Yuan Y., Yu X., Cheng Y., Sun R., Zheng H., Zhang C., Li Y. Biochar enhanced growth and biological nitrogen fixation of wild soybean (*Glycine max* subsp. *Soja* Siebold & Zucc.) in a Coastal Soil of China // *Agriculture*. 2021. Vol. 11 (12). Article number 1246. DOI: 10.3390/agriculture11121246.
22. El-Naggar A., El-Naggar A. H., Shaheen S. M., Sarkar B., Chang S. X., Tsang D. C. W., Rinklebe J., Ok Y. S. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: a review // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 241. Pp. 458–467. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.02.044.

23. Alburquerque J. A., Salazar P., Barrón V., Torrent J., Campillo M. C., Gallardo A., Villar R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels // *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. Pp. 475–484. DOI: 10.1007/s13593-012-0128-3.
24. Godlewska P., Ok Y. S., Oleszczuk P. The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils // *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 403. Article number 123833. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123833.
25. Ling L., Luo Y., Jiang B., Lv J., Meng C., Liao Y., Reid B., Ding F., Lu Z., Kuzyakov Y., Xu J. Biochar induces mineralization of soil recalcitrant components by activation of biochar responsive bacteria groups // *Soil Biology and Biochemistry*. 2022. Vol. 172. Article number 108778. DOI: 10.1016/j.soilbio.2022.108778.
26. Olmo M., Villar R., Salazar P., Alburquerque J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development // *Plant and Soil*. 2016. Vol. 399. Pp. 333–343. DOI: 10.1007/s11104-015-2700-5.
27. Shen Q., Hedley M., Arbestain M. C., Kirschbaum M. U. F. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus? // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2016. Vol. 16. No 2. Pp. 268–286. DOI: 10.4067/S0718-95162016005000022.
28. Solaiman Z. M., Abbott L. K., Murphy D. V. Biochar phosphorus concentration dictates mycorrhizal colonisation, plant growth and soil phosphorus cycling // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9 (1). Article number 5062. DOI: 10.1038/s41598-019-41671-7.
29. Hammer E. C., Balogh-Brunstad Z., Jakobsen I., Olsson P. A., Stipp S. L. S., Rillig M. C. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces // *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 77. Pp. 252–260. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.06.012.
30. Yang X., Ran Z., Li R., Fang L., Zhou J., Guo L. Effects of biochar on the growth, ginsenoside content, and soil microbial community composition of *Panax quinquefolium* L. // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022. Vol. 22 (2). Pp. 2670–2686. DOI: 10.1007/s42729-022-00835-7.
31. Смит С. Э., Рид Д. Дж. Микоризный симбиоз / Пер. с англ. 3-е издание. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 776 с.

Об авторах:

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

Ольга Анатольевна Некрасова, кандидат биологических наук, доцент Департамента наук о Земле и космосе, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-3260-6440, AuthorID 155905. *E-mail: o_nekr@mail.ru*

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

Семен Александрович Черепанов, аспирант Департамента наук о Земле и космосе, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0007-4727-4462, AuthorID 1208782. *E-mail: sema.cherepanov.90@mail.ru*

Виктор Владимирович Валдайских, кандидат биологических наук, директор ботанического сада, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-9440-8522, AuthorID 142640. *E-mail: v_vald@mail.ru*

References

1. Kudeyarov V. N. Influence of fertilizers and farming systems on carbon sequestration in soils. *Eurasian Soil Science*. 2022; 12: 79–96. DOI: 10.31857/S0002188122120092. (In Russ.)
2. Cornelissen G., Jubaedah, Nurida N. L., Hale S. E., Martinsen V., Silvani L., Mulder J. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 634. Pp. 561–568. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.380.
3. Murtaza G., Ahmed Z., Usman M., Tariq W., Ullah Z., Shareef M., Iqbal H., Waqas M., Tariq A., Wu Y., Zhang Z., Ditta A. Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production. *Journal of Plant Nutrition*. 2021; 44 (11): 1677–1691. DOI: 10.1080/01904167.2021.1871746.
4. Meschewski E., Holm N., Sharma B. K., Spokas K., Minalt N., Kelly J. J. Pyrolysis biochar has negligible effects on soil greenhouse gas production, microbial communities, plant germination, and initial seedling growth. *Chemosphere*. 2019; 228: 565–576. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.031.

5. Purakayastha T. J., Kumari S., Pathak H. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma*. 2015; 239–240: 293–303. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.009.
6. Mukherjee A., Zimmerman A. R. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma*. 2013; 193: 122–130. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.10.002.
7. Zhang Q., Song Y., Wu Z., Yan X., Gunina A., Kuzyakov Y., Xiong Z. Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Clean Production*. 2020; 242. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118435.
8. Craine J. M., Froehle J., Tilman D. G., Wedin D. A., Chapin I. F. S. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos*. 2003; 93 (2): 274–285. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2001.930210.x.
9. Zhu J., Lynch J. P. The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays*) seedlings. *Functional Plant Biology*. 2004; 31 (10): 949–958. DOI: 10.1071/FP04046.
10. Bayuelo-Jiménez J. S., Gallardo-Valdéz M., Pérez-Decelis V. A., Magdaleno-Armas L., Ochoa I., Lynch J. P. Genotypic variation for root traits of maize (*Zea mays* L.) from the Purhepecha Plateau under contrasting phosphorus availability. *Field Crops Research*. 2011; 121 (3): 350–362. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.01.001.
11. Arinushkina E. V. Guidelines for Chemical Soil Analysis. Moscow: Publishing House of MSU, 1970. 488 p. (In Russ.)
12. Vorob'eva L. A. Theory and practice of chemical analysis of soils. Moscow: GEOS, 2006. 400 p. (In Russ.)
13. Pregitzer K. S., DeForest J. L., Burton A. J., Allen M. F., Ruess R. W., Hendrick R. L. Fine root architecture of nine north American trees. *Ecological Monographs*. 2002; 72 (2): 293–309. DOI: 10.1890/0012-9615(2002)072[0293:FRAONN]2.0.CO;2.
14. Selivanov I. A. Myco-Symbiotrophism as a form of consortconnections in the vegetation cover of the Soviet Union. Moscow: Science, 1981. 232 p. (In Russ.)
15. Al-Wabel M. I., Hussain Q., Usman A. R. A., Ahmad M., Abduljabbar A., Sallam A. S., Ok Y. S. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: a review. *Land Degradation & Development*. 2018; 29 (7): 2124–2161. DOI: 10.1002/ldr.2829.
16. Ponomarev K. O., Pervushina A. N., Korotaeva K. S., Yurtaev A. A., Petuhov A. S., Tabakaev R. B., Shanenkov I. I. Biochar influence on the development of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and acidity of soddy-podzolic soil in Western Siberia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2022; 113: 110–137. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-113-110-137. (In Russ.)
17. Tesfaye F., Liu X., Zheng J., Cheng K., Bian R., Zhang X., Li L., Drosos M., Joseph S., Pan G. Could biochar amendment be a tool to improve soil availability and plant uptake of phosphorus? A meta-analysis of published experiments. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28 (26): 34108–34120. DOI: 10.1007/s11356-021-14119-7.
18. Curaqueo G., Roldán A., Mutis A., Panichini M., Martín A. P.-S., Meier S., Mella R. Effects of biochar amendment on wheat production, mycorrhizal status, soil microbial community, and properties of an Andisol in Southern Chile. *Field Crops Research*. 2021; 273 (1): 108306. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108306.
19. Gorovtsov A. V., Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Perelomov L. V., Soja G., Zamulina I. V., Rajput V. D., Sushkova S. N., Mohan D., Yao J. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020; 42 (8): 2495–2518. DOI: 10.1007/s10653-019-00412-5.
20. Ahmad Z., Mosa A., Zhan L., Gao B. Biochar modulates mineral nitrogen dynamics in soil and terrestrial ecosystems: A critical review. *Chemosphere*. 2021; 278: 130378. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130378.
21. Yin S., Suo F., Kong Q., You X., Zhang X., Yuan Y., Yu X., Cheng Y., Sun R., Zheng H., Zhang C., Li Y. Biochar enhanced growth and biological nitrogen fixation of wild soybean (*Glycine max* subsp. *Soja* Siebold & Zucc.) in a Coastal Soil of China. *Agriculture*. 2021; 11 (12): 1246. DOI: 10.3390/agriculture11121246.
22. El-Naggar A., El-Naggar A. H., Shaheen S. M., Sarkar B., Chang S. X., Tsang D. C. W., Rinklebe J., Ok Y. S. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: a review. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 241. Pp. 458–467. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.02.044.
23. Alburquerque J. A., Salazar P., Barrón V., Torrent J., Campillo M. C., Gallardo A., Villar R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013; 33: 475–484. DOI: 10.1007/s13593-012-0128-3.
24. Godlewska P., Ok Y. S., Oleszczuk P. The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 403. Article number 123833. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123833.

25. Ling L., Luo Y., Jiang B., Lv J., Meng C., Liao Y., Reid B., Ding F., Lu Z., Kuzyakov Y., Xu J. Biochar induces mineralization of soil recalcitrant components by activation of biochar responsive bacteria groups. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022; 172: 108778. DOI: 10.1016/j.soilbio.2022.108778.
26. Olmo M., Villar R., Salazar P., Albuquerque J. A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. *Plant and Soil*. 2016; 399: 333–343. DOI: 10.1007/s11104-015-2700-5.
27. Shen Q., Hedley M., Arbestain M. C., Kirschbaum M. U. F. Can biochar increase the bioavailability of phosphorus? *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2016; 16 (2): 268–286. DOI: 10.4067/S0718-95162016005000022.
28. Solaiman Z. M., Abbott L. K., Murphy D. V. Biochar phosphorus concentration dictates mycorrhizal colonisation, plant growth and soil phosphorus cycling. *Scientific Reports*. 2019; 9 (1): 5062. DOI: 10.1038/s41598-019-41671-7.
29. Hammer E. C., Balogh-Brunstad Z., Jakobsen I., Olsson P. A., Stipp S. L. S., Rillig M. C. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014; 77: 252–260. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.06.012.
30. Yang X., Ran Z., Li R., Fang L., Zhou J., Guo L. Effects of biochar on the growth, ginsenoside content, and soil microbial community composition of *Panax quinquefolium* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022; 22 (2): 2670–2686. DOI: 10.1007/s42729-022-00835-7.
31. Smit S. E., Rid D. Dzh. Mycorrhizal symbiosis / Translate from English. Edition 3rd. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2012. 776 p. (In Russ.)

Authors' information:

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

Olga A. Nekrasova, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Earth and space sciences, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-3260-6440, AuthorID 155905. *E-mail: o_nekr@mail.ru*

Alina V. Malakheeva, graduate student of the Department of Earth and space sciences, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0002-0056-1054, AuthorID 1195211. *E-mail: alina.malakheeva@gmail.com*

Semen A. Cherepanov, graduate student of the Department of Earth and space sciences, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0007-4727-4462, AuthorID 1208782. *E-mail: sema.cherepanov.90@mail.ru*

Viktor V. Valdayskikh, candidate of biological sciences, Director of the UrFU Botanical Garden, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-9440-8522, AuthorID 142640. *E-mail: v_vald@mail.ru*

Изучение сортов каллистефуса китайского (Callistephus chinensis L.) в условиях криолитозоны

С. А. Владимирова, И. И. Петрова[✉], М. П. Лукина

Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия

[✉]E-mail: ivanovna06@mail.ru

Аннотация. Цель – изучить перспективные сорта каллистефуса китайского в условиях криолитозоны. В статье представлены результаты изучения каллистефуса китайского (Callistephus chinensis L.) 12 разных сортов в условиях резко континентального климата Якутии. Каллистефус китайский (Callistephus chinensis L.) – однолетнее травянистое растение, яркое и красивоцветущее, обладает стойкостью, особенно это важно в условиях криолитозоны, где выбор красивоцветущих растений ограничен. **Предмет исследования** – сезонное развитие сортов каллистефуса китайского в условиях криолитозоны. Каллистефусы хорошо подходят для озеленения городских ландшафтов в связи с их декоративностью, разнообразием окрасок, устойчивостью ко многим факторам окружающей среды и обильным цветением. Интродукция видов каллистефуса китайского, а также выведение холодостойких сортов является одной из актуальных проблем садоводства Центральной Якутии. В лаборатории и в теплицах Арктического ГАТУ проводились сортоиспытания каллистефуса китайского для выявления наиболее адаптивных сортов. **Методы.** Посевы проводились полновесными семенами с определением энергии прорастания и всхожести. Анализы проводились в Государственном управлении «Госсемиинспекция» Республики Саха (Якутия). Выращивали разные сорта каллистефуса китайского рассадным способом. **Результаты.** Выращивание рассадным способом привело к удлинению вегетационного периода и продолжительности цветения, что в итоге позволило добиться более длительной декоративности; возможность некоторых сортов каллистефуса китайского выдерживать засуху, устойчивость к неблагоприятным условиям, наиболее адаптивными к озеленению в Центральной Якутии выявились такие сорта, как Бальфе художественная, Яблунева, Мценский рубин, Березка, Рубиновые звезды. **Научная новизна.** Для выявления наиболее адаптивных сортов в условиях криолитозоны проведены сортоиспытания каллистефуса китайского.

Ключевые слова: каллистефус китайский, однолетние цветы, красивоцветущие растения, сорт, сезонный ритм, озеленение

Для цитирования: Владимирова С. А., Петрова И. И., Лукина М. П. Изучение сортов каллистефуса китайского (Callistephus chinensis L.) в условиях криолитозоны // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 309–318. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-309-318>.

Дата поступления статьи: 05.10.2023, **дата рецензирования:** 21.11.2023, **дата принятия:** 09.01.2024.

Study of varieties of chinese callistephus (Callistephus chinensis L.) in cryolithozone conditions

S. A. Vladimirova, I. I. Petrova[✉], M. P. Lukina

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

[✉]E-mail: ivanovna06@mail.ru

Abstract. Purpose: to study promising varieties of Callistephus chinensis L. in the conditions of the cryolithozone. The article presents the results of the study of Callistephus chinensis L. of 12 different varieties in the sharply continental climate of Yakutia. Callistephus chinensis L. is an annual herbaceous, bright and beautifully flowering plant. But at the same time it has resistance, this is especially important in the conditions of the cryolithozone, where the choice of beautifully flowering plants is limited. Subject of research: seasonal development of Calliste-

phus chinensis L. varieties in cryolithozone conditions. Callistephus is well suited for landscaping urban landscapes, due to their decorative nature, a variety of colors, resistance to many environmental factors and abundant flowering. The introduction of Callistephus chinensis L. species, as well as the breeding of cold-resistant varieties is one of the urgent problems of gardening in Central Yakutia. In the laboratory and in the greenhouses of the Arctic State Agrotechnological University, variety tests of Callistephus chinensis L. were conducted to identify the most adaptive varieties. **Methods.** Sowing was carried out with full-weight seeds with determination of germination energy and germination. The analyses were carried out in the State Administration "State Ministries Inspection" of the Republic of Sakha (Yakutia). Different varieties of Callistephus chinensis L. were grown in a seedling way. **Results.** Seedling cultivation led to an elongation of the growing season and the duration of flowering, which ultimately made it possible to achieve a longer decorative effect; the ability of some varieties of Callistephus chinensis L. to withstand drought, resistance to adverse conditions, such varieties as Bal'fe khudozhestvennaya, Yabluneya, Mtsenskiy rubin, Berezka, Rubinovye zvezdy were revealed to be the most adaptive to gardening in Central Yakutia. **Scientific novelty.** In order to identify the most adaptive varieties in the conditions of the cryolithozone, variety tests of Callistephus chinensis L. were carried out.

Keywords: callistephus, annual flowers, flowering plants, varieties, growth, development

For citation: Vladimirova S. A., Petrova I. I., Lukina M. P. Study of varieties of Callistephus chinensis L. in cryolithozone conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 309–318. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-309-318>. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.10.2023, **date of review:** 21.11.2023, **date of acceptance:** 09.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

С повышением уровня жизни изменяется и отношение человека к окружающей его среде, в том числе и к благоустройству территории. В Республике Саха (Якутия) озеленению и благоустройству территорий уделяется значительное внимание, поскольку суровый климат вносит свои коррективы.

Изменение ассортимента растений для озеленения и благоустройства территории, обеспечение усовершенствованными средствами труда ведут к появлению необходимости во все новых и новых сортах цветочных культур, в разнообразии способов их дизайна.

Климат в Центральной Якутии суровый, поэтому возникает потребность в изучении адаптивных свойств цветочных культур, которые можно эффективно использовать при наших условиях. И одним из таких видов является каллистефус китайский *Callistephus chinensis*.

Знание биологических особенностей и развития разных сортов каллистефуса китайского является наиболее важным звеном в изучении приспособленности к почвенно-климатическим условиям.

В условиях Севера предъявляются особые требования к декоративным растениям, которых можно использовать в ландшафтном озеленении и благоустройстве территорий [1–3]. Определенные требования к городским ландшафтам выдвигаются в связи с необходимостью упорядочения землепользования и создания условий для оптимизации использования земельных ресурсов [4]. Реакцию растений на действие среды можно определить, изучая сезонный ритм развития. Выбранные сорта каллистефуса китайского должны быть стойкими

к неблагоприятным условиям погоды, достаточно устойчивыми к болезням и вредителям. При этом необходимо учитывать важность создания сортов сельскохозяйственных культур, пригодных к аридным климатическим условиям криолитозоны [5].

Методология и методы исследования (Methods)

Цель исследования – изучить перспективные сорта каллистефуса китайского в условиях криолитозоны.

Исследование проводилось в лаборатории и в теплицах Арктического ГАТУ г. Якутска Республики Саха (Якутия).

Объектом исследования выбрана каллистефус китайский – однолетнее травянистое растение. Предмет исследования – сезонное развитие сортов каллистефуса китайского в условиях криолитозоны.

Изучению проблем озеленения, благоустройства территорий и ландшафтного дизайна посвящены работы Е. А. Святковской, В. В. Симоновой, В. В. Чичигинарова [1–3], исследованиям почвенных условий – работы В. И. Кирюшина, Р. В. Десяткина, А. Р. Десяткина, К. В. Истомина, И. И. Кадцына [4–7], выращивания однолетних и многолетних летников, в том числе и каллистефуса китайского, – специалистов Л. Н. Хайровой, С. А. Приходько, И. А. Чугаевой, С. В. Сычевой, А. П. Татарчук, Д. Е. Шингужиновой, J. Kavuličová, J. Sedláková-Kaduková, D. Ivánová, V. Repický [8–14; 18]. Все исследования проводились согласно общепринятым методикам [15; 16]. Проводились наблюдения за сезонным ритмом развития каллистефусов, за сроками наступления фенологических фаз, оценивались декоративные качества сортов по литературным и собственным данным, определялась

зимостойкость. Все работы с рассадой проводились по методике Государственного сортоиспытания. В ходе опытной работы в течение вегетационного периода изучали сезонное развитие по методике сортоизучения [16]. Такие параметры каллистефуса китайского, как форма, высота, диаметр и количество побегов боковых соцветий, структура, форма, размер и декоративность соцветий, определяли по методике в фазе массового цветения. Агротехника выращивания каллистефуса китайского основывается на общедоступных методах и средствах.

Состав почвосмеси (земля, перегной, биогумус, песок) в соотношении 2 : 1 : 0,5 : 1 [3; 5].

Обеззараживание семян перед посевом проводилось однопроцентным раствором марганцевокислого калия в течение 10–12 минут. Посев семян проводили рядовым способом с междурядьем 3–4 см, расстояние между семенами – 1,5 см. В дальнейшем семена засыпали землей слоем 0,5 см и хорошо увлажняли, закрывали полиэтиленовой пленкой, ставили в теплое место.

Пикировка проводилась после появления 3–4 настоящих листочков в стаканчики диаметром 6–6,5 см. Полив саженцев проводили орошением по мере высыхания почвы. В открытый грунт высаживали закаленную рассаду.

Климат Якутии резко континентальный, отличается интенсивной солнечной радиацией в теплое время, малым количеством осадков, засушливостью и суровостью, обусловленными географическим положением и рельефом [5]. Криолитозона, по определению специалистов, это мерзлая зона литосферы, верхняя часть земной коры с отрицательной температурой почв, отложений, горных пород, с наличием или возможностью существования подземных льдов [6]. Также климатические процессы прямо и косвенно влияют на состояние почвы криолитозоны [5]. В ней верхний слой многолетней мерзлоты периодически оттаивает и становится частью почвы, что обусловлено глубиной летнего протаивания почв (4).

Метеорологические условия исследуемого периода приведены по данным Якутской гидрометеостанции. Агрометеорологические условия в последние годы и в годы проведения исследования не имели значительных отличий между собой и от средней многолетней (таблица 1).

Вегетационный период исследуемого года был неблагоприятным для развития растений. В период активной вегетации растений регистрировался недостаток влаги.

Незначительные осадки в июле, августе и сентябре, обеспеченность теплом в целом отрицательно повлияли на рост и развитие некоторых не адаптированных к местным условиям цветочных культур.

В 2021 году на поверхности почвы в конце мая наблюдались заморозки и понижение температуры

6–7 °С, которые отрицательно сказались на всходах большинства декоративных культур. Заморозки на поверхности почвы отмечены начиная с сентября с интенсивностью –3 °С, которые не повреждали растения.

В целом развитие и рост растений происходили на фоне стабильно высоких температур и недостатка влаги. В июле абсолютные максимальные температуры на поверхности почвы достигали +42 °С. Осадки регистрировались незначительные и составили только 30 мм. Близкие значения регистрировались ряд лет. В конце августа и сентябре отмечались низкая теплообеспеченность и влагообеспеченность растений.

Исследования проводились на лугово-черноземной слабосолончаковой почве с хлоридно-сульфатным засолением. Солончаковость почвы определяли по общепризнанным методикам [15].

Показатели агрохимического анализа почвы: щелочная реакция среды pH от 7,7 до 8,2; содержание гумуса в слое 0–20 см – 5,3 %; азота – 80,2 мг/кг почвы; подвижного фосфора – 91,8; обменного калия – 80,8.

Почвы, где проводилось исследование, относятся к таежным палевым мерзлотным, таежным мерзлотным оподзоленным, суглинистым и супесчаным [17]. Вечная мерзлота обуславливает отрицательные среднегодовые температуры почвы. Многолетнемерзлые грунты создают водонепроницаемый экран, сдерживающий исходящие почвенные растворы. Почвы бесструктурные, в них накапливается большое количество солей.

В период суровых малоснежных зим в Центральной Якутии верхний слой почвы ежегодно, начиная с октября, промерзает до границы с мерзлотой. Процесс оттаивания начинается примерно в первых числах мая, с момента схождения снега и перехода температуры воздуха через ноль градусов. Слой почвы над многолетним мерзлым грунтом оттаивает к концу августа не более чем на 130–250 см. Из-за многолетней мерзлоты грунтов почвы обладают слабой биологической активностью, что вызывает крайне медленное разложение гумуса и органических остатков. Отрицательная температура почвы влияет как на водообмен и усвоение питательных веществ растениями, так и на формирование корневых систем и надземной части растений.

Результаты (Results)

Специалисты характеризуют каллистефусы как наиболее подходящие растения для озеленения городских ландшафтов, поскольку они отличаются обильным цветением, долго остаются декоративными, устойчивы к болезням и вредителям и нетребовательны к условиям культуры [8–14; 18].

Каллистефус китайский образует кустик высотой 20–80 см. Цветки представлены разнообразными расцветками, соцветия крупные, простые или махровые.

Таблица 1
Агрометеорологические условия вегетационного периода
(по данным метеостанции г. Якутска, 2021)

Показатели	Средние многолетние данные	Годы 2021
Вегетационный период (выше 5 °С)		
Начало вегетационного периода, число	13/V	17/V
Конец вегетационного периода, число	19/IX	10/IX
Продолжительность, дни	126	112
Сумма температур воздуха, °С	1795	1814
Среднесуточная температура, °С	14.0	15.9
Сумма осадков, мм	138	222
Гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. Т. Селянинову	0.77	1.22
Активный период вегетации (выше 10 °С)		
Начало периода, число	28/V	28/V
Конец периода, число	3/IX	30/VIII
Продолжительность, дни	97	93
Сумма температур воздуха, °С	1565	1637
Среднесуточная температура, °С	16.1	17.6
Сумма осадков, мм	110	190
ГТК	0.70	1.16
Начало вегетационного периода, дни	12/VI	14/VI
Конец вегетационного периода, дни	16/VIII	20/VIII
Продолжительность, дни	64	66
Сумма температуры, °С	1148	1260
Среднесуточная температура воздуха, °С	17.9	19.1
Сумма осадков, мм	64	92
ГТК	0.56	0.73

Table 1
Agrometeorological conditions of the growing season (according to the Yakutsk weather station, 2021)

Indicators	Average long-term data	Years 2021
Growing season (above 5 °C)		
The beginning of the growing season, the number	13/V	17/V
The end of the growing season, the number	19/IX	10/IX
Duration, days	126	112
Sum of air temperatures, °C	1795	1814
Average daily temperature, °C	14.0	15.9
Precipitation amount, mm	138	222
Hydrothermal coefficient (HTC) according to G. T. Selyaninov	0.77	1.22
Active growing season (above 10 °C)		
The beginning of the period, the number	28/V	28/V
End of the period, number	3/IX	30/VIII
Duration, days	97	93
Sum of air temperatures, °C	1565	1637
Average daily temperature, °C	16.1	17.6
Precipitation amount, mm	110	190
HTC	0.70	1.16
The beginning of the growing season, days	12/VI	14/VI
End of the growing season, days	16/VIII	20/VIII
Duration, days	64	66
The sum of the temperature, °C	1148	1260
Average daily air temperature, °C	17.9	19.1
Precipitation amount, mm	64	92
HTC	0.56	0.73

Цветет летом и в начале осени. Для получения растений с ранним цветением подбирают ранние и суперранние растения, используют рассадный способ выращивания.

Однолетние каллистефусы неприхотливы и просты в выращивании, хорошо размножаются семенами. В последнее время среди садоводов и огородников становятся популярными многолетние растения. Такие сорта, как альпийская, новобельгийская, итальянская и новоанглийская, не требуют ежегодной посадки. Многолетние каллистефусы отличаются некоторыми параметрами от однолетних. Соцветия многолетних сортов до 5–6 см – некрупные, большей частью простые, чем махровые. Цветение обильное и продолжительное. Из многолетних сортов отличается новобельгийская как наиболее неприхотливая и зимостойкая.

У исследуемого растения мочковатая корневая система. Ее основная масса расположена в верхнем слое почвы на глубине 15–20 см [8]. Стебли прямостоячие, высотой от 25 до 100 см. Листья очередные, широкоовальные или овально-ромбические, края пильчатые, крупнозубчатые или городчатые. Соцветие – корзинка, образованная трубчатыми и язычковыми цветками. Выделяют по высоте карликовые, низкорослые, среднерослые, высокие и гигантские группы. По форме делят на пирамидальные, колонновидные, раскидистые.

Каллистефусы отличаются разнообразием окраски: от однотонных до двухцветных, белых, красных голубых и др.

По продолжительности вегетационного периода и сроку цветения однолетние каллистефусы делят на ранние, средние и поздние. Массовое цветение ранних сортов наступает через 83–106 суток после появления всходов, средних – через 116–122, поздних – через 123–131.

По хозяйственному использованию различают срезочные, обсадочные и универсальные сорта. Срезочные сорта пригодны для использования в букетах, так как отличаются длинными цветоносами. К обсадочным относятся невысокие сорта. Цветение соцветий одновременное и продолжительное. Универсальные имеют прочные цветоносы, пригодны для использования в качестве и обсадочных и срезочных цветов.

Морфологические показатели сортов каллистефуса китайского представлены в таблице 2.

Рассмотрим сорта, представленные в таблице 2.

Сорт Березка. Высота – до 54 см. Куст небольшой, колонновидный, диаметр – до 16 см. Им необходимо яркое солнце, они не выносят тень, хорошо растут на плодородной почве. Холодостойкость высокая: переносят заморозки до $-3...-4^{\circ}\text{C}$. Сорт очень раннего срока цветения. Окраска соцветий белая.

Сорт Яблунева. Сортотип пионовидных каллистефусов. Среднепоздний. Куст небольшой, компактный, колонновидный, высота – 65 см. Соцветия густо-махровые. Цветовая гамма изменяется с начала цветения от белых, через сиренево-розовый оттенок до светломалинового. Семена данного сорта посеяли 26 марта в горшочки, 5 июня – в открытый грунт. Цветение началось в первой декаде июля и продолжалось до конца августа.

Сорт Мценский рубин высотой до 42 см. Соцветия рубиново-красные. Диаметр куста – 20 см. Семена сорта посеяли 26 марта в соответствии с применяемыми технологиями, пикировка производилась в фазе первой пары настоящих листочков, в открытый грунт высадили 5 июня. При этом цветение продолжалось с 15 июля до конца августа. Отличается холодостойкостью до $-3...-4^{\circ}\text{C}$.

Каллистефус **сорта Бальфе художественная** является игольчатой. Сорт среднего срока цветения. Куст прочный, раскидистый. На растении формируется до 10 нежно-сиренево-розовых соцветий диаметром 14–15 см. Семена посеяли рассадным способом 26 марта, пикировку проводили в фазе трех настоящих листочков, в открытый грунт высадили 5 июня. Цветение продолжалось с 22 июля до конца августа.

Сорт Рубиновые звезды высотой до 55–60 см. Компактный, узкообразно-пирамидальный. Соцветия игольчатые, очень изящные, диаметром 10–11 см, рубиновой окраски. Высокая холодостойкость позволяет хорошо переносить заморозки до $-3...-4^{\circ}\text{C}$. Семена высевали 27 марта, пикировка с тремя настоящими листочками, в открытый грунт рассаду высадили 5 июня. Цветение наступило 25 июля и продолжалось до конца августа. Сорт обладает повышенной устойчивостью к болезням.

Сорт Невеста белая: высота – 58 см, диаметр – 30 см, соцветие до 9,0 см.

Сорт Желтая башня высотой около 50 см, диаметр цветка 30 см, цвет оригинальный желтый, цветков махровый.

Сорт Московская синяя высотой 50 см, диаметр небольшой – 28 см, размеры соцветия – 9 см. Имеет оригинальный синий цвет, тип цветка – пионовидный.

К махровым по типу цветка относятся также сорта Ротер Эдельштайн и Русская красавица высотой до 50 см, диаметр варьирует от 21 см до 30 см. Оба цветка с розовым оттенком.

Сорт Борнталлер относится к густомахровым сортам, высота – 50 см, диаметр небольшой – 25 см при размере соцветия 8 см. Цветок темно-розового цвета.

Наиболее раннее цветение у каллистефусов двух сортов: Яблунева и Мценский рубин. Более позднее цветение наблюдалось у каллистефусов Рубиновые

Таблица 2
Морфологические показатели Каллистефуса китайского (*Callistephus chinensis* L.)
в среднем за 2021 г., см

Вид	Сорт	Куст		Размер соцветия	Окраска цветка	Тип цветка	Схема посадки см
		Высота	Диаметр				
Каллистефус китайский (<i>Callistephus chinensis</i> L.)	Белоснежка	55	29	8,0	Белая	Густо-махровая	20–30
	Бальфе художественная	48	34	7,0	Красная	Густо-махровая	20–30
	Яблунева	60	28	9,0	Сиренево-розовая	Густо-махровая	30–40
	Мценский рубин	42	20	7,0	Красная	Махровая	25–30
	Невеста белая	58	30	9,0	Белая	Полумахровая	20–30
	Желтая башня	50	30	7,0	Желтая	Махровая	25–30
	Московская синяя	50	28	9,0	Синяя	Пионовидная	25–30
	Березка	54	16	7,5	Белая	Махровая	25–30
	Ротер Эдельштайн	50	30	8,0	Темно-розовая, середина желтая	Махровая	20–40
	Русская красавица	50	21	8,0	Розовая	Махровая	20–30
	Рубиновые звезды	52	25	8,0	Рубиновая	Махровая	25–30
	Борнталлер	50	25	8,0	Темно-розовая	Густо-махровая	20–30

Table 2
Morphological indicators of Chinese callistephus (*Callistephus chinensis* L.) on average for 2021, cm

Type	Variety	Bush		Inflorescence size	Flower coloring	Flower type	Planting scheme, cm
		Height	Diameter				
Chinese callistephus (<i>Callistephus chinensis</i> L.)	Belosnezhka	55	29	8.0	White	Thickly terry	20–30
	Bal'fe khudozhestvennaya	48	34	7.0	Red	Thickly terry	20–30
	Yabluneva	60	28	9.0	Lilac pink	Thickly terry	30–40
	Mtsenskiy rubin	42	20	7.0	Red	Terry	25–30
	Nevesta belaya	58	30	9.0	White	Thickly terry	20–30
	Zheltaya bashnya	50	30	7.0	Yellow	Terry	25–30
	Moskovskaya sinyaya	50	28	9.0	Blue	Peony-shaped	25–30
	Berezka	54	16	7.5	White	Terry	25–30
	Roter Edel'shtayn	50	30	8.0	Dark pink, yellow middle	Terry	20–40
	Russkaya krasavitsa	50	21	8.0	Pink	Terry	20–30
	Rubinovy zvezdy	52	25	8.0	Ruby	Terry	25–30
	Borntaller	50	25	8.0	Dark pink	Thickly terry	20–30

звезды, Борнталлер и Ротер Эдельштайн. Наибольшую продолжительность цветения показали Бальфе художественная (57 дней), Яблунева (52 дня). Существенно короткая продолжительность цветения у сорта Ротер Эдельштайн – 32 дня. Незначительные заморозки выдержали сорта Русская красавица и Рубиновые звезды. Продолжительность межфазных периодов каллистефуса китайского (*Callistephus chinensis* L.) представлена в таблице 3.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изучены 12 сортов каллистефуса китайского (*Callistephus chinensis* L.) как наиболее декоративного растения для использования в озеленении и благоустройстве городов и сел Якутии. Было выявлено, что наиболее адаптивными к озеленению в Центральной Якутии являются сорта каллистефуса китайского Бальфе художественная, Яблунева, Мценский рубин, Березка, Русская красавица и Рубиновые звезды.

Таблица 3
Продолжительность межфазных периодов Каллистепфуса китайского (*Callistephus chinensis* L.), дни (2021 г.)

№	Вид, сорт	Посев – массовые всходы	Массовые всходы – бутонизация	Бутонизация – полное цветение	Массовое цветение – начало созревания семян	Массовые созревание семян – полное созревание	Вегетационный период
1	Белоснежка	26.03–02.04 (8)	02.04–26.06 (85)	24.06–31.08 (64)	10.07–15.08 (36)	15.08–31.08 (16)	26.03–31.08 (158)
2	Бальфе художественная	26.03–04.04 (8)	04.04–25.06 (82)	24.06–31.08 (65)	15.07–25.08 (41)	25.08–31.08 (6)	26.03–31.08 (158)
3	Яблунева	26.03–02.04 (8)	02.04–25.06 (84)	24.06–31.08 (66)	10.07–15.08 (36)	15.08–31.08 (16)	26.03–31.08 (138)
4	Мценский рубин	26.03–30.03 (5)	30.03–31.06 (94)	31.06–31.08 (64)	15.07–31.08 (48)	21.08–31.08 (12)	26.03–31.08 (152)
5	Невеста белая	26.03–31.03 (6)	31.03–07.07 (102)	07.07–31.08 (60)	28.07–31.08 (35)	31.08	26.03–31.08 (152)
6	Желтая башня	26.03–02.04 (7)	02.04–06.07 (94)	06.07–26.07 (20)	26.07–31.08 (37)	31.08	26.03–31.08 (152)
7	Московская синяя	27.03–02.04 (7)	02.04–05.07 (104)	05.07–27.07 (22)	27.07–31.08 (36)	31.08	27.03–31.08 (151)
8	Березка	27.03–02.04 (7)	02.04–06.07 (105)	06.07–18.07 (14)	18.07–31.08 (45)	31.08	27.03–31.08 (151)
9	Ротер Эдельштайн	27.03–02.04 (7)	02.04–25.06 (94)	25.06–31.07 (42)	31.07–31.08 (32)	31.07–14.08 (15)	27.03–31.08 (151)
10	Русская красавица	27.03–02.04 (7)	02.04–07.07 (104)	07.07–21.08 (35)	31.07–05.09 (37)	15.08–05.09 (20)	27.03–05.09 (157)
11	Рубиновые звезды	27.03–02.04 (7)	02.04–15.07 (96)	15.07–31.07 (16)	02.08–05.09 (35)	05.09	27.03–05.09 (167)
12	Борнталлер	27.03–02.04 (7)	02.04–12.07 (99)	12.07–31.07 (19)	31.07–31.08 (40)	31.08	27.03–31.08 (158)

Таблица 3
Duration of interphase periods of Chinese callistephus (*Callistephus chinensis* L.), days (2021)

No.	Type, grade	Sowing – mass shoots	Mass shoots – budding	Budding – full bloom	Mass flowering is the beginning of seed maturation	Mass seed maturation – full maturation	Vegetative period
1	Belosnezhka	26.03–02.04 (8)	02.04–26.06 (85)	24.06–31.08 (64)	10.07–15.08 (36)	15.08–31.08 (16)	26.03–31.08 (158)
2	Bal'fe khudozhestvennaya	26.03–04.04 (8)	04.04–25.06 (82)	24.06–31.08 (65)	15.07–25.08 (41)	25.08–31.08 (6)	26.03–31.08 (158)
3	Yabluneva	26.03–02.04 (8)	02.04–25.06 (84)	24.06–31.08 (66)	10.07–15.08 (36)	15.08–31.08 (16)	26.03–31.08 (138)
4	Mtsenskiy rubin	26.03–30.03 (5)	30.03–31.06 (94)	31.06–31.08 (64)	15.07–31.08 (48)	21.08–31.08 (12)	26.03–31.08 (152)
5	Nevesta belaya	26.03–31.03 (6)	31.03–07.07 (102)	07.07–31.08 (60)	28.07–31.08 (35)	31.08	26.03–31.08 (152)
6	Zhelтая bashnya	26.03–02.04 (7)	02.04–06.07 (94)	06.07–26.07 (20)	26.07–31.08 (37)	31.08	26.03–31.08 (152)
7	Moskovskaya sinyaya	27.03–02.04 (7)	02.04–05.07 (104)	05.07–27.07 (22)	27.07–31.08 (36)	31.08	27.03–31.08 (151)
8	Berezka	27.03–02.04 (7)	02.04–06.07 (105)	06.07–18.07 (14)	18.07–31.08 (45)	31.08	27.03–31.08 (151)
9	Roter Edel'shtayn	27.03–02.04 (7)	02.04–25.06 (94)	25.06–31.07 (42)	31.07–31.08 (32)	31.07–14.08 (15)	27.03–31.08 (151)
10	Russkaya krasavitsa	27.03–02.04 (7)	02.04–07.07 (104)	07.07–21.08 (35)	31.07–05.09 (37)	15.08–05.09 (20)	27.03–05.09 (157)
11	Rubinoye zvezdy	27.03–02.04 (7)	02.04–15.07 (96)	15.07–31.07 (16)	02.08–05.09 (35)	05.09	27.03–05.09 (167)
12	Borntaller	27.03–02.04 (7)	02.04–12.07 (99)	12.07–31.07 (19)	31.07–31.08 (40)	31.08	27.03–31.08 (158)

Сорт Березка, выращенный рассадным способом, можно применять как в составе композиции, так и для срезки.

Каллистефус сорта Яблунева (сортотип пионовидных каллистефусов) можно использовать в оформлении цветников, клумб, рабаток, вазонов или для срезки; сорт Мценский рубин подходит для использования как в качестве срезочного растения, так и для вазонов, рабаток и клумб. Игольчатый сорт Бальфе художественная рекомендуется использовать в групповых и одиночных посадках,

преимущественно на срезку, компактный сорт Рубиновые звезды – для оформления клумб, рабаток, миксбордера и для срезки.

Результаты исследования подводят к выводу, что выращивание сортов каллистефусов китайских рассадным способом дает возможность увеличить вегетационный период растения и продолжительность цветения, избежать ранних заморозков. К наиболее важным характеристикам выделенных сортов каллистефусов китайских мы отнесли возможность выдерживать засуху, устойчивость к неблагоприятным условиям.

Библиографический список

1. Святковская Е. А., Салтан Н. В., Уманец М. С. Новые сорта однолетних цветочных растений для озеленения населенных мест Субарктики // Агропромышленные технологии Центральной России. 2022. № 2 (24). С. 61–70. DOI: 10.24888/2541-7835-2022-24-63-72.
2. Симонова В. В., Дымина Е. В. Декоративное цветоводство в ландшафтном дизайне // Современные проблемы озеленения городской среды: материалы национальной (всероссийской) научно-практической студенческой конференции. Новосибирск, 2020. С. 118–121.
3. Чичигинаров В. В. Реконструкция и создание озелененных и благоустроенных ландшафтов на территории ПО «г. Якутск»: научно-методическое пособие. Якутск: Дом печати, 2022. 160 с.
4. Кирюшин В. И. Задачи оптимизации землепользования в России // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2023. № 116. С. 5–25. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-116-5-25.
5. Десяткин Р. В., Десяткин А. Р. Влияние увеличения глубины деятельного слоя почвы на изменение водного баланса в криолитозоне // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1393–1402. DOI: 10.1134/S0032180X19110030.
6. Истомин К. В., Хабек Й. О. Почвы криолитозоны и традиционное природопользование коренного населения Северо-Востока европейской части России и Западной Сибири: постановка исследовательской проблемы // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2019. № 1 (44). С. 108–119. DOI: 10.20874/2071-0437-2019-44-1-108-119.
7. Кадцын И. И. Улучшение эксплуатационных и технико-экономических характеристик геотермальных теплотрансформаторов: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. Красноярск, 2022. 22 с.
8. Хайрова Л. Н., Васильева М. В. Сравнительная оценка особенностей строения корневой системы у многолетних видов астр // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 82–84.
9. Приходько С. А., Макогон И. В. Коллекции и экспозиции цветочно-декоративных растений Донецкого ботанического сада // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2020. № 3 (156). С. 28–36. DOI: 10.36305/2712-7788-2020-3-156-28-36.
10. Чугаева И. А. Декоративная оценка сортов и гибридов астры однолетней при выращивании в почвенно-климатических условиях Пермского края // Молодежная наука 2021: технологии, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Пермь, 2021. С. 187–190.
11. Сычева С. В., Деревенских О. А., Деревщюков С. Н. Селекция астры и других летников // Настоящее и будущее Воронежской овощной опытной станции. 2022. № 3–4. С. 38–46. DOI: 10.18619/2658-4832-2022-3-4-38-46.
12. Татарчук А. П. Влияние стимуляторов роста на всхожесть семян астры однолетней [Электронный ресурс] // Аграрное образование и наука. 2022. № 2. URL: <http://sno.urgau.ru/ru/2-2022/3-2-2022> (дата обращения: 06.10.2023).
13. Шингужинова Д. Е., Татарчук А. П. Агротехника выращивания астры альпийской // Вклад молодых ученых в развитие АПК: сборник тезисов, подготовленный в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и наука – 2022». Екатеринбург, 2022. Т. 3. С. 64–65.
14. Шингужинова Д. Е., Татарчук А. П. Ботаническое описание и размножение астры // Вклад молодых ученых в развитие АПК: сборник тезисов, подготовленный в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и наука – 2022». Екатеринбург, 2022. Т. 3. С. 62–64.
15. Шингужинова Д. Е., Татарчук А. П. Использование астры альпийской в озеленении // Вклад молодых ученых в развитие АПК: сборник тезисов, подготовленный в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Молодежь и наука – 2022». Екатеринбург, 2022. Т. 3. С. 65–66.

16. Десяткин Р. В., Лесовая С. Н., Оконешникова М. В., Иванова А. З. Криоземы и палевые слабодифференцированные почвы тундр и тайги Якутии: свойства, минералогический состав и классификация // Почвоведение. 2021. № 12. С. 1423–1436. DOI: 10.31857/S0032180X21120042.

17. Харчева Е. А. Сортоизучение астры однолетней в условиях Тюменской области // Новые научные исследования: сборник статей VI Международной научнопрактической конференции. Пенза, 2021. С. 79–82.

18. Васильева В. А., Софронова Д. В., Чичигинаров В. В. Оценка агрохимических показателей мерзлотной лугово-черноземной почвы центральной Якутии по итогам двух туров обследования (2016, 2021) // International Agricultural Journal. 2022. № 6. С. 1454–1465.

19. Kavuličová J., Sedláková-Kaduková J., Ivánová D., Repický V. Responses of *Linum usitatissimum* and *Callistephus chinensis* on copper contaminated substrate // WSEAS Transactions on Environment and Development. 2019. Vol. 15. Pp. 493–499.

Об авторах:

Светлана Афанасьевна Владимирова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия; ORCID 0009-0008-5580-4934, AuthorID 830491. E-mail: svetafana555@mail.ru

Ирина Ивановна Петрова, кандидат педагогических наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID 0009-0006-1716-7810, AuthorID 1137071; Якутск, Россия. E-mail: ivanovna06@mail.ru

Мария Петровна Лукина, ассистент преподавателя, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID 0009-0006-2658-2223, AuthorID 928624; Якутск, Россия. E-mail: agrozara8712@gmail.com

References

1. Svyatkovskaya E. A., Saltan N. V., Umanets M. S. New varieties of annual flowering plants for landscaping populated areas of the Subarctic. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2022; 2 (24): 61–70. DOI: 10.24888/2541-7835-2022-24-63-72. (In Russ.)

2. Simonova V. V., Dymina E. V. Decorative floriculture in landscape design. *Modern problems of landscaping the urban environment: materials of the national (all-Russian) scientific and practical student conference*. Novosibirsk, 2020. Pp. 118–121. (In Russ.)

3. Chichiginarov V. V. Reconstruction and creation of green and landscaped landscapes on the territory of the Yakutsk Production Association (scientific and methodological manual). Yakutsk: House of Press, 2022. 160 p. (In Russ.)

4. Kiryushin V. I. The goals of land use optimization in Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2023; 116: 5–25. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-116-5-25. (In Russ.)

5. Desyatkin R. V., Desyatkin A. R. Effect of increasing the depth of the active soil layer on changes in the water balance in the permafrost zone. *Soil Science*. 2019; 11: 1393–1402. DOI: 10.1134/S0032180X19110030. (In Russ.)

6. Istomin K. V., Khabek J. O. Permafrost soils and traditional environmental management of the indigenous population of the North-East of the European part of Russia and Western Siberia: formulation of a research problem. *Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography*. 2019; 1 (44): 108–119. DOI: 10.20874/2071-0437-2019-44-1-108-119. (In Russ.)

7. Kadtsyn I. I. Improving the operational and technical and economic characteristics of geothermal heat transformers: abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.14.04. Krasnoyarsk, 2022. 22 p. (In Russ.)

8. Khairova L. N., Vasilyeva M. V. Comparative assessment of the structural features of the root system in perennial aster species. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018; 3: 82–84. (In Russ.)

9. Prikhodko S. A., Makogon I. V. Collections and exhibitions of floral and ornamental plants of the Donetsk Botanical Garden. *Plant biology and gardening: theory, innovations*. 2020; 3 (156): 28–36. DOI: 10.36305/2712-7788-2020-3-156-28-36. (In Russ.)

10. Chugaeva I. A. Decorative assessment of varieties and hybrids of annual aster when grown in the soil and climatic conditions of the Perm region. *Youth science 2021: technologies, innovations: materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Perm, 2021. Pp. 187–190. (In Russ.)

11. Sycheva S. V., Derevenskikh O. A., Derevshchukov S. N. Selection of aster and other letnikov. *Present and future of the Voronezh vegetable experimental station. News of the Federal Scientific Center*. 2022; 3–4: 38–46. DOI: 10.18619/2658-4832-2022-3-4-38-46. (In Russ.)

12. Tatarchuk A. P. Influence of Growth Stimulants on the Generating of Seeds of Astra Annual. *Agricultural education and science* [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 06]; 2. Available from: <http://sno.urgau.ru/en/2-2022-en/3-2-2022-en>. (In Russ.)
13. Shinguzhinova D. E., Tatarchuk A. P. Agricultural technology for growing alpine aster. *The contribution of young scientists to the development of the agro-industrial complex: a collection of theses prepared within the framework of the All-Russian Scientific and Practical conference "Youth and Science – 2022"*. Ekaterinburg, 2022. Vol. 3. Pp. 64–65. (In Russ.)
14. Shinguzhinova D. E., Tatarchuk A. P. Botanical description and reproduction of aster. *The contribution of young scientists to the development of the agro-industrial complex: a collection of theses prepared within the framework of the All-Russian Scientific and Practical conference "Youth and Science – 2022"*. Ekaterinburg, 2022. Vol. 3. Pp. 62–64. (In Russ.)
15. Shinguzhinova D. E., Tatarchuk A. P. Use of alpine aster in landscaping. *The contribution of young scientists to the development of the agro-industrial complex: a collection of theses prepared within the framework of the All-Russian Scientific and Practical conference "Youth and Science – 2022"*. Ekaterinburg, 2022. Vol. 3. Pp. 65–66. (In Russ.)
16. Desyatkin R. V., Lesovaya S. N., Okoneshnikova M. V., Ivanova A. Z. Cryozems and light-colored poorly differentiated soils of the tundra and taiga of Yakutia: properties, mineralogical composition and classification. *Soil Science*. 2021; 12: 1423–1436. DOI: 10.31857/S0032180X21120042. (In Russ.)
17. Kharcheva E. A. Varietal study of annual aster in the conditions of the Tyumen region. *New scientific research: collection of articles of the VI International Scientific and Practical Conference*. Penza, 2021. Pp. 79–82. (In Russ.)
18. Vasilyeva V. A., Sofronova D. V., Chichiginarov V. V. Assessment of agrochemical indicators of frozen meadow-chernozem soil of central Yakutia based on the results of two rounds of survey (2016, 2021). *International Agricultural Journal*. 2022; 6: 1454–1465. (In Russ.)
19. Kavuličová J., Sedláková-Kaduková J., Ivánová D., Repický V. Responses of *Linum usitatissimum* and *Callistephus chinensis* on copper contaminated substrate. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2019; 15: 493–499.

Authors' information:

Svetlana A. Vladimirova, candidate of agricultural sciences, associate professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0009-0008-5580-4934, AuthorID 830491; *E-mail: svetafana555@mail.ru*

Irina I. Petrova, candidate of pedagogical sciences, associate professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0009-0006-1716-7810, AuthorID 1137071; *E-mail: ivanovna06@mail.ru*

Mariya P. Lukina, teaching assistant, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0009-0006-2658-2223, AuthorID 928624; *E-mail: agrozara8712@gmail.com*

Оценка устойчивости перспективных гибридов цветного картофеля к фитофторозу

А. К. Королева, М. К. Деревягина, В. А. Бирюкова, О. Б. Поливанова ✉, О. Г. Казаков

ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия

✉ E-mail: polivanovaoks@gmail.com

Аннотация. Картофель с пигментированной мякотью содержит антоцианы и другие фенольные соединения, которые обладают антиоксидантной активностью и оказывают благоприятное влияние на здоровье человека. Питательная ценность и другие потребительские качества доступных сортов картофеля должны сочетаться с устойчивостью к различным инфекциям, прежде всего к фитофторозу, который приводит к значительным потерям урожая и существенным затратам на химическую защиту. **Целью данной работы** являлась оценка устойчивости к фитофторозу 46 перспективных гибридов картофеля с различным паттерном пигментации как в полевых условиях, так и лабораторными методами, включая молекулярный скрининг. **В задачи данного исследования** входило получение перспективных гибридов цветного картофеля, характеризующихся совокупностью хозяйственно полезных признаков, лабораторная и полевая оценка устойчивости листьев и клубней к возбудителю фитофтороза *Phytophthora infestans*, а также молекулярный скрининг маркеров генов устойчивости к фитофторозу (*Rpi*-генов). Получение, выращивание и оценка гибридного материала производилась по стандартным **методиками**. Полевая и лабораторная устойчивость листьев и клубней оценивалась по 9-балльной шкале. Молекулярный скрининг осуществлялся при помощи ПЦР-анализа. **Научная новизна** работы заключается в том, что впервые была произведена комплексная оценка устойчивости к фитофторозу гибридного материала цветного картофеля, полученного на территории Российской Федерации. Согласно полученным **результатам**, исследованные образцы продемонстрировали высокий уровень устойчивости клубней и листьев в полевых условиях и лабораторных испытаниях. Однако не было выявлено зависимости между лабораторной или полевой устойчивостью и наличием маркеров *Rpi*-генов, что может быть связано с влиянием множества независимых факторов, обуславливающих горизонтальную устойчивость.

Ключевые слова: картофель, фитофтороз, горизонтальная устойчивость, *Rpi*-гены, молекулярные маркеры, антоцианы

Для цитирования: Королева А. К., Деревягина М. К., Бирюкова В. А., Поливанова О. Б., Казаков О. Г. Оценка устойчивости перспективных гибридов цветного картофеля к фитофторозу // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 319–337. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-319-337>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха согласно тематическому плану НИР по теме FGGM-2022-0002 «Изучение изменчивости геномов культурных растений для повышения эффективности селекции и семеноводства».

Дата поступления статьи: 09.10.23, **дата рецензирования:** 15.11.2023, **дата принятия:** 09.01.2024.

Resistance assessment of promising colored potato hybrids to late blight

A. K. Koroleva, M. K. Derevyagina, V. A. Biryukova, O. B. Polivanova✉, O. G. Kazakov

Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia

✉E-mail: polivanovaoks@gmail.com

Abstract. Potatoes with pigmented tubers contain anthocyanins and other phenolic compounds that demonstrate antioxidant activity and have a beneficial effect on human health. The nutritional value and other consumer qualities of available potato varieties must be combined with resistance to various infections, primarily late blight, which leads to significant yield losses and considerable costs for chemical protection. **The purpose of this work** was to assess late blight resistance of 46 promising potato hybrids with different pigmentation patterns, both in the field and by laboratory methods, including molecular screening. **The objectives** of this study included obtaining promising hybrids of colored potatoes characterized by a set of economically important traits, laboratory and field assessment of the resistance of leaves and tubers to the late blight pathogen *Phytophthora infestans*, as well as molecular screening of late blight resistance gene markers (*Rpi* genes). The production, cultivation and evaluation of the hybrid material was carried out using standard **methods**. Field and laboratory resistance of leaves and tubers was assessed on a 9-point scale. Molecular screening was carried out using PCR analysis. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that for the first time a comprehensive assessment of the resistance to late blight of hybrid material of colored potatoes obtained on the territory of Russian Federation was carried out. According to the **results** obtained, the studied samples demonstrated a high level of resistance of tubers and leaves in field conditions and laboratory tests. However, the results of the study did not reveal a relationship between laboratory or field resistance and the presence of *Rpi* gene markers, which may be due to the influence of many independent factors that determine horizontal resistance.

Keywords: potato, late blight, horizontal resistance, *Rpi* genes, molecular markers, anthocyanins

For citation: Koroleva A. K., Derevyagina M. K., Biryukova V. A., Polivanova O. B., Kazakov O. G. Resistance assessment of promising colored potato hybrids to late blight. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 319–337. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-319-337>. (In Russ.)

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Russian Potato Research Center in accordance with the thematic research plan on the topic FGGM-2022-0002 “Study of the variability of the genomes of cultivated plants to increase the efficiency of breeding and seed production.”

Date of paper submission: 09.10.23, **date of review:** 15.11.2023, **date of acceptance:** 09.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Селекция сортов картофеля для здорового и диетического питания с повышенным содержанием антиоксидантов (в первую очередь антоцианов и каротиноидов) – относительно новое и востребованное потребителями направление исследований. Формы картофеля с фиолетовой или красной мякотью клубней характеризуются высокой антиоксидантной активностью по сравнению с сортами с белой или с желтой мякотью [1]. Показано, что потребление картофеля с окрашенной мякотью снижает воспалительные процессы и окислительный стресс у людей, что напрямую связано с антиоксидантной активностью антоцианов и других фенольных соединений, концентрация которых в таких сортах картофеля значительно выше [2]. Доступность и распространенность пигментированных сортов картофеля также позволяет расширить ассортимент

продуктов из картофеля и найти новое применение в пищевой промышленности. Это особенно актуально, учитывая существенную долю картофеля в рационе питания населения.

Сортимент картофеля с пигментированной мякотью клубней у нас в стране представлен небольшим количеством отечественных (Фиолетовый, Северное сияние, Сюрприз, Индиго) сортов. Необходимо дальнейшее совершенствование и расширение существующего набора сортов картофеля с высоким содержанием антиоксидантов. При этом актуальной остается задача совмещения в новых сортах картофеля продуктивности и качества урожая с надежной устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды. Возделывание устойчивых к патогенам сортов позволяет также минимизировать пестицидную нагрузку как на саму агроэкосистему, так и на окружающую среду в целом.

В системе защиты картофеля от вредителей и болезней существенное количество химических обработок направлено на борьбу с грибными болезнями, что оказывает воздействие на окружающую среду и человека. Среди патогенов, поражающих картофель, фитофтороз (возбудитель – оомицет *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) является одним из наиболее распространенных и вредоносных заболеваний.

Интенсивные исследования фитофтороза картофеля привели к открытию доминантных генов устойчивости к *P. infestans* (гены *Rpi*) у диких видов картофеля. Исследования по внедрению генов *Rpi* из *Solanum demissum* привели к появлению сортов картофеля с устойчивостью к фитофторе, культивируемых на территории Европы в широких масштабах. Однако новые вирулентные штаммы *P. infestans* быстро преодолели данный тип устойчивости [3; 4]. В настоящее время ведется поиск новых источников устойчивости к *P. infestans*. В связи с этим в селекционные программы включаются виды картофеля и гены *Rpi*, ранее не задействованные в традиционной селекции. Во избежание быстрого преодоления устойчивости у вновь созданных сортов целесообразно вводить не один, а несколько генов *Rpi* одновременно [5].

На сегодняшний день идентифицировано и картировано более 70 *Rpi* генов у 32 видов *Solanum*. Единичные гены устойчивости были идентифицированы у 15 диких видов картофеля. Однако часто в пределах одного вида обнаруживают несколько функциональных генов *Rpi*. Так, у *S. demissum* идентифицировано 14 генов *Rpi*; у *S. bulbocastanum* и *S. berthaultii* – по 5; у *S. stoloniferum*, *S. edinense* и *S. venturii* – по 4; у *S. hjertingii* и *S. chacoense* – по 3; у *S. huancabambense*, *S. pinnatisectum*, *S. schenckii* и *S. tarijense* – по 2. Гены *Rpi* были картированы кластерами на I, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X и XI хромосомах картофеля [6]. В популяции, созданной с использованием дикого вида *S. pampasense*, QTL устойчивости были обнаружены на хромосомах 11 и 12 [7].

Помимо традиционной селекции, для получения устойчивых к фитофторозу форм картофеля используются соматическая гибридизация [8] и технологии редактирования генома [9; 10].

Успех внедрения *Rpi*-генов можно оценить путем скрининга устойчивости в фитопатологических тестах в лабораторных или полевых условиях. При лабораторном заражении создаются наиболее благоприятные условия для развития спор гриба, а сложный комплексный состав инокулюма создает максимально вирулентную среду, с которой в полевых условиях растения не встречаются. Поэтому лабораторная оценка с большей эффективностью позволяет выделить устойчивые генотипы к широкому расовому составу патогена, на оценку которых

в полевых условиях потребовалось бы несколько сезонов. Фенотипические тесты можно дополнить молекулярными маркерами, которые в рамках маркер-опосредованной селекции ускоряют процесс отбора растений, несущих интересующий ген. Фенотипическая оценка устойчивости в сочетании с применением хорошо валидированных молекулярных маркеров является более информативным подходом для широкого скрининга перспективных форм картофеля.

Программы селекции картофеля с устойчивостью к фитофторозу в настоящее время включают в себя стратегии с применением молекулярных маркеров, чтобы оценить возможность объединения нескольких генов устойчивости [11]. По всему миру проводятся широкомасштабные молекулярно-генетические и фенотипические исследования зародышевой плазмы картофеля с целью выявления перспективных генотипов с устойчивостью к фитофторозу [4; 12–15].

В производстве сортов картофеля для функционального питания, требованиям к которому во многом отвечают пигментированные формы, остро стоит потребность в сортах с устойчивостью к фитофторозу, несмотря на перспективы использования различных биопрепаратов в защите картофеля от фитофтороза [16]. Поэтому важно, чтобы новые формы картофеля с пигментированной мякотью клубней обладали высокой фитофтороустойчивостью.

Цель работы – оценка устойчивости к фитофторозу 46 перспективных гибридов картофеля с пигментированными клубнями как в полевых условиях, так и лабораторными методами, включая применение молекулярных маркеров.

Методология и методы исследования (Methods)

Растительный материал для оценки лабораторной и полевой устойчивости к фитофторозу листьев и клубней включал в себя 46 гибридов картофеля, полученных в ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха и отобранных по комплексу хозяйственно-биологических признаков в ходе селекции на пигментацию мякоти клубня. Морфологические признаки, в соответствии с которыми осуществлялся отбор, а также происхождение изучаемых гибридов, представлены в таблице 1.

Основные этапы получения, выращивания и оценки гибридного материала были выполнены в соответствии с методическими указаниями по технологии селекционного процесса картофеля [17], методикой исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитету [18].

Оценка устойчивости к фитофторозу. Заражение листьев и клубней изучаемых образцов проводилось в лабораторных условиях. В качестве инфекции применили сложный инокулюм различных рас фитофтороза – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, ..., хуз, –

полученный из Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии. Концентрация инокулюма для заражения как листьев, так и клубней – 50 000 зооспор/см³. Опыт проводили в двух повторностях.

Оценка устойчивости листьев. Листья собирали со среднего яруса трех растений исследуемого образца для каждой из повторностей. Для заражения листьев каплю инокулюма помещали в центральную часть листа. После заражения листья инкубировали при 17 °С в условиях повышенной влажности в течение 7 суток, после чего произво-

дили оценку поражения с использованием шкалы от 1 до 9, где 9 означает полное отсутствие проявлений инфекции. Общим критерием оценки было сочетание процента пораженной площади листа и интенсивности развития мицелия.

Оценка устойчивости клубней. Для оценки устойчивости клубней применяли метод декапитации клубней [19]. Инокулированные клубни инкубировали в темноте при 17 °С в течение 12 дней, после чего оценивали площадь инфекционного пятна на продольном разрезе клубней по 9-балльной шкале.

Таблица 1
Морфологическая характеристика и происхождение исследуемых образцов

№ п/п	Селекционный номер	Происхождение	Цвет кожуры	Цвет глазка	Цвет мякоти	Узор пигмента	Степень пигментации
1	686А-58	54-10-3 × Терра Роза	Фиолетовый	Фиолетовый	Бело-фиолетовый	Мраморный	7
2	686А-19	54-10-3 × Терра Роза	Красный	Красный	Желто-красный	Центр	3
3	687А-18	(М16 × 31ТС) × Гала	Желтый	Красный	Желтый		
4	621-2-21	Успех × Терра Роза	Красный	Красный	Бело-красный	Кольцо	2
5	683-1-21	60-10-6 × Терра Роза	Красный	Красный	Розовый	Сплошной	7
6	608-56-21	Барин × Терра Роза	Красный	Красный	Кремово-розовый	Кольцо	1
7	687А-4	(М16 × 31ТС) × Гала	Желто-фиолетовый	Фиолетовый	Желтый		
8	686А-4	54-10-3 × Терра Роза	Красный	Красный	Красный	Сплошной	8
9	687А-5	(М16 × 31ТС) × Гала	Желто-фиолетовый	Фиолетовый	Кремово-фиолетовый	Центр	2
10	687А-1	(М16 × 31ТС) × Гала	Красно-фиолетовый	Фиолетовый	Кремово-фиолетовый	Кольцо	3
11	633-2-21	59У01-3 × Терра Роза	фиолетовый	Фиолетовый	Желто-фиолетовый	Центр	6
12	654-1	(М16 × 31ТС) × Гала	Красный	Красный	Желто-красный	Центр	5
13	686А-18	54-10-3 × Терра Роза	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Мраморный	8
14	686А-9	54-10-3 × Терра Роза	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	8
15	613-1-21	КС211ХУ04-10 × Гала	Красно-фиолетовый	Фиолетовый	Желтый		
16	608-58-21	Барин × Терра Роза	Красно-фиолетовый	Фиолетовый	Кремово-фиолетовый	Кольцо	1
17	623-1-21	726 × 46-98-6	Красный	Красный	Бело-розовый	Полукольцо	1
18	654-2-21	(М16 × 31ТС) × Гала	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
19	686А-17	54-10-3 × Терра Роза	Фиолетовый	Фиолетовый	Бело-фиолетовый	Кольцо, Центр	6
20	623-2-21	726 × 46-98-6	Красный	Красный	Кремово-розовый	Центр	6

21	686A-21	54-10-3 × Терра Роза	Фиолетовый	Фиолетовый	Бело- фиолетовый	Кольцо	6
22	654-3-21	(M16 × 31TC) × Гала	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
23	662-3-21	(1229 × 5/1ЦВ) × (Лель × 5/1)	Красный	Красный	Красный	Сплошной	7
24	687A-17	(M16 × 31TC) × Гала	Фиолетовый	Фиолетовый	Желто- фиолетовый	Мрамор- ный	7
25	617-2-21	4421-13 × Blue Congo	Фиолетовый	Фиолетовый	Кремово- фиолетовый	Центр	7
26	686A-14	54-10-3 × Терра Роза	Коричневато- фиолетовый	Фиолетовый	Желто- фиолетовый	Кольцо	6
27	618-1-21	1049 × Бриз	Желто- красный	Желтый	Желто- красный	Кольцо	5
28	686A-10	54-10-3 × Терра Роза	Розовый	Розовый	Светло- желтый		
29	686A-46	54-10-3 × Терра Роза	Красный	Красный	Желто- красный	Кольцо	2
30	3178-22	Кумач × Блю Конго	Темно- фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	8
31	3164-22	5 сир 302290.23	Розовато- бежевый	Розовый	Светло- желто- розовый	Пятно	1
32	3175-22	2775-10 × Роза Монтана	Красно- желтый	Красный/ желтый	Розовый	Сплошной	8
33	3174-22	705029 × Кенза	Желто- красный	Красный/ желтый	Красный	Сплошной	7
34	3163-22	2 сир 302289.41	Красно- фиолетовый	Фиолетовый	Кремово- Фиолетовый	Центр	5
35	3179-22	Лекарь × Роза Монтана	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	8
36	3170-22	Василек × Роза Монтана	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	8
37	3171-22	Салатовый голубой × свободное опыление	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
38	3169-22	Лекарь × Роза Монтана	Фиолетовый	Фиолетовый	Бело- фиолетовый	Центр, градиент	5
39	3177-22	705029 × Гала	Красный	Красный	Красный	Сплошной	8
40	3167-22	Кумач × Блю Конго	Темно- фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
41	3173-22	Алл Ред × Блю Конго	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Мрамор- ный	8
42	3166-22	Алл Блю × Гала	Красный	Красный	Желто- розовый	Центр	2
43	3168-22	Северное сияние × Русский сувенир	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
44	3165-22	Блю Конго × Беллароза	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	9
45	3176-22	Пигмей × Блю Конго	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Мрамор- ный	8
46	3172-22	4421-7 × Роза Монтана	Фиолетовый	Фиолетовый	Фиолетовый	Сплошной	7

Table 1

Morphological characteristics and origin of the studied samples

Агротехнологии

No.	Breeding number	Origin	Peel color	Eye color	Flesh color	Pigment pattern	Degree of pigmentation
1	686A-58	54-10-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	White-violet	Marble	7
2	686A-19	54-10-3 × Terra Rosa	Red	Red	Yellow-red	Center	3
3	687A-18	(M16 × 31TC) × Gala	Yellow	Red	Yellow		
4	621-2-21	Uspekh × Terra Rosa	Red	Red	White-red	Ring	2
5	683-1-21	60-10-6 × Terra Rosa	Red	Red	Pink	Entire	7
6	608-56-21	Barin × Terra Rosa	Red	Red	Creamy-pink	Ring	1
7	687A-4	(M16 × 31TC) × Gala	Yellow-violet	Violet	Yellow		
8	686A-4	54-10-3 × Terra Rosa	Red	Red	Red	Entire	8
9	687A-5	(M16 × 31TC) × Gala	Yellow-violet	Violet	Creamy-violet	Center	2
10	687A-1	(M16 × 31TC) × Gala	Red-violet	Violet	Creamy-violet	Ring	3
11	633-2-21	59Y01-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	Yellow-violet	Center	6
12	654-1	(M16 × 31TC) × Gala	Red	Red	Yellow-red	Center	5
13	686A-18	54-10-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	Violet	Marble	8
14	686A-9	54-10-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	Violet	Entire	8
15	613-1-21	KS211KhU04-10 × Gala	Red-violet	Violet	Yellow		
16	608-58-21	Barin × Terra Rosa	Red-violet	Violet	Creamy-violet	Ring	1
17	623-1-21	726 × 46-98-6	Red	Red	White-pink	Half-ring	1
18	654-2-21	(M16 × 31TC) × Gala	Violet	Violet	Violet	Entire	9
19	686A-17	54-10-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	White-violet	Ring, Center	6
20	623-2-21	726 × 46-98-6	Red	Red	Creamy-pink	Center	6
21	686A-21	54-10-3 × Terra Rosa	Violet	Violet	White-violet	Ring	6
22	654-3-21	(M16 × 31TC) × Gala	Violet	Violet	Violet	Entire	9
23	662-3-21	(1229 × 5/1TsV) × (Lel' × 5/1)	Red	Red	Red	Entire	7
24	687A-17	(M16 × 31TC) × Gala	Violet	Violet	Yellow-violet	Marble	7
25	617-2-21	4421-13 × Blue Congo	Violet	Violet	Creamy-violet	Center	7
26	686A-14	54-10-3 × Terra Rosa	Brownish-violet	Violet	Yellow-violet	Ring	6
27	618-1-21	1049 × Briz	Yellow-red	Yellow	Yellow-red	Ring	5
28	686A-10	54-10-3 × Terra Rosa	Pink	Pink	Light-yellow		
29	686A-46	54-10-3 × Terra Rosa	Red	Red	Yellow-red	Ring	2
30	3178-22	Kumach × Blue Congo	Dark-violet	Violet	Violet	Entire	8
31	3164-22	5 cip 302290.23	Pinkish-beige	Pink	Light-yellow-pink	Пятно	1
32	3175-22	2775-10 × Rosa Montana	Red-yellow	Red/yellow	Pink	Entire	8
33	3174-22	705029 × Kenza	Yellow-red	Red/yellow	Red	Entire	7
34	3163-22	2cip 302289.41	Red-violet	Violet	Creamy-violet	Center	5
35	3179-22	Lekar' × Rosa Montana	Violet	Violet	Violet	Entire	8
36	3170-22	Vasilek × Rosa Montana	Violet	Violet	Violet	Entire	8
37	3171-22	Salatovyy goluboy × open pollination	Violet	Violet	Violet	Entire	9
38	3169-22	Lekar' × Rosa Montana	Violet	Violet	White-violet	Center, gradient	5
39	3177-22	705029 × Gala	Red	Red	Red	Entire	8
40	3167-22	Kumach × Blue Congo	Dark-violet	Violet	Violet	Entire	9
41	3173-22	All Red × Blue Congo	Violet	Violet	Violet	Marble	8

End of table 1

42	3166-22	All Blue × Gala	Red	Red	Yellow-pink	Center	2
43	3168-22	Severnoye siyanie × Russkiy souvenir	Violet	Violet	Violet	Entire	9
44	3165-22	Blue Congo × Bellarosa	Violet	Violet	Violet	Entire	9
45	3176-22	Pigmei × Blue Congo	Violet	Violet	Violet	Marble	8
46	3172-22	4421-7 × Rosa Montana	Violet	Violet	Violet	Entire	7

Таблица 2

SCAR-маркеры генов Rpi, использованные в исследовании

Ген	Размер маркера, п. н.	Температура отжига, °C	Последовательности праймеров	Ссылка
R1	1205	65	F: CACTCGTGACATATCCTCACTA R: GTAGTACCTATCTTATTTCTGCAAGAAT	[21]
R2	686	54	F: GCTCCTGATACGATCCATG R: ACGGCTTCTTGAATGAA	[22]
R3a	1380	64	F: TCCGACATGTATTGATCTCCCTG R: AGCCACTTCAGCTTCTTACAGTAGG	[23]
R3b	378	64	F: GTCGATGAATGCTATGTTTCTCGAGA R: ACCAGTTTCTTGCAATTCCAGATTG	[24]
Rpi-blb1 = Rpi-sto1	890	65	F: ACCAAGGCCACAAGATTCTC R: CCTGCGGTTCTGGTTAATACA	[25]

Table 2

SCAR markers of Rpi genes used in the study

Gene	Marker size, b. p.	Annealing temperature, °C	Primer's sequences	Reference
R1	1205	65	F: CACTCGTGACATATCCTCACTA R: GTAGTACCTATCTTATTTCTGCAAGAAT	[21]
R2	686	54	F: GCTCCTGATACGATCCATG R: ACGGCTTCTTGAATGAA	[22]
R3a	1380	64	F: TCCGACATGTATTGATCTCCCTG R: AGCCACTTCAGCTTCTTACAGTAGG	[23]
R3b	378	64	F: GTCGATGAATGCTATGTTTCTCGAGA R: ACCAGTTTCTTGCAATTCCAGATTG	[24]
Rpi-blb1 = Rpi-sto1	890	65	F: ACCAAGGCCACAAGATTCTC R: CCTGCGGTTCTGGTTAATACA	[25]

Полевая оценка. В ходе полевой оценки в течение трех лет фиксировали визуальное наличие патогена и оценивали по 9-балльной шкале, где 9 – полное отсутствие визуальных признаков поражения фитофторозом, 8 – единичные пятна, 7 – поражено до ¼ поверхности листьев, 6 – поражено более ¼, но менее ½ поверхности листьев, 5 – поражено до ½ поверхности листьев, 4 – поражено более ½ поверхности листьев, 3 – поражено до ¾ поверхности, 2 – поражено более ¾ поверхности листьев, 1 – поражена вся площадь листьев.

При оценке как полевой, так и лабораторной устойчивости к фитофторозу в качестве положительного контроля использовали сорт Ильинский (восприимчивый), а в качестве отрицательного – высокоустойчивый сорт Sarpo Mira, несущий как минимум 5 генов устойчивости (R3a, R3b, R4, Rpi-Smira1 и Rpi-Smira2/R8) [20].

ПЦР-анализ. Для определения наличия доминантных олигогенов устойчивости к фитофторозу применяли молекулярно-генетические методы на основе ПЦР. Были использованы молекулярные

маркеры Rpi-генов (R1, R2/Rpi-blb3, R3a, R3b, Rpi-blb1 = Rpi-sto1), перечисленные в таблице 2.

Геномную ДНК выделяли по протоколу, основанному на СТАВ-методе Sagai – Maroof [26]. ПЦР проводилась в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 1 реакционный буфер, 0,25 mM dNTPs, 2,5 mM хлорида магния, 0,2 μM каждого из праймеров, 1 ед. Taq-полимеразы и геномную ДНК. Амплификацию осуществляли в термоциклере (Thermo Fisher) при параметрах, соответствующих каждой паре праймеров. Амплифицированные фрагменты разделяли при помощи электрофореза в агарозном геле с концентрацией агарозы 1,5 %.

Статистическая обработка полученных данных. Для статистической обработки полученных данных использовали Microsoft Excel.

Результаты (Results)

Существуют два типа устойчивости к фитофторозу: сверхчувствительность (вертикальная, или специфическая, устойчивость), обусловленная R-генами и эффективная только против некоторых рас возбудителя, которые несут и экспрессируют

аллель авирулентности, совместимый с соответствующим R-геном хозяина; и полевая устойчивость (горизонтальная, или общая), которая неспецифична для расы возбудителя. В полевых условиях эти два типа устойчивости сложно различимы [27].

Исследователями отмечено, что полевая устойчивость к фитофторозу (прежде всего ботвы) характеризуется несколькими факторами: устойчивость к проникновению, устойчивость к распространению, устойчивость к росту и размножению патогена, которые наследуются как независимые признаки. Сумма этих механизмов определяет наблюдаемый уровень устойчивости сортов к фитофторозу в полевых условиях [28]. Исходя из понимания устойчивости как комплексного признака, состоящего из нескольких независимых компонентов, возможно подбирать исходные родительские формы картофеля, дополняющие друг друга по отдельным компонентам.

В таблице 3 представлены результаты лабораторной и полевой оценки устойчивости к фитофторозу листьев и клубней 46 новых перспективных образцов картофеля с пигментированной мякотью.

По результатам лабораторного скрининга выделено 4 образца с очень высокой и 25 образцов с высокой устойчивостью, 15 характеризовались средней устойчивостью, 2 образца были восприимчивыми к фитофторозу листьев.

При лабораторной оценке учет степени поражения листа фитофторозом проводится в два этапа с интервалов в 24 часа, что позволяет оценить степень проникновения и динамику распространения патогена. Оценка степени поражения *очень высокоустойчивых образцов* (7,1–9,0 балла) по первому и второму учету различалась не более чем на 1 балл, что свидетельствует о наличии у них механизмов, препятствующих как проникновению, так и распространению патогена в ткани листа. Реакция этих гибридов на заражение выражена по типу сверхчувствительности.

При этом также выделяется группа *высокоустойчивых* к фитофторозу листьев (5,1–7,0 балла) образцов. Гибриды этой группы показали меньшее сопротивление к проникновению инфекции, но ее дальнейшее распространение было затруднено. Например, формы 686A-58-21, 686A-19-21, 687A-4-21 имеют различия в оценке по первым двум учетам в пределах 0,6 балла. В то же время гибриды 687A-5-31, 633-2-21, 3164-22 имеют разницу между первым и вторым учетом более 2 баллов.

Группа *восприимчивых (средне- и низкоустойчивых)* образцов (с итоговой оценкой ниже 5,0 балла) характеризуется в основном средней устойчивостью к проникновению патогена, но последующим интенсивным его распространением в тканях листа. Поэтому в эпифитотийные годы эта группа

гибридов будет сильно поражаться патогеном и потребует количественного увеличения пестицидных обработок.

В полевых условиях в отсутствие массового развития фитофтороза 18 образцов показали очень высокую степень устойчивости, 15 – высокую, 11 – среднюю, 2 – низкую. Таким образом, отсутствует сильная корреляция между лабораторной и полевой устойчивостью листьев в изучаемой выборке (коэффициент корреляции Пирсона – 0,35), что может отличаться от ранее опубликованных данных. Некоторые исследования демонстрируют сильную взаимосвязь показателей полевой и лабораторной устойчивости (коэффициент корреляции Пирсона – около 0,9) [27; 29]. Различия в результатах полевой оценки и лабораторного тестирования прежде всего объясняются тем, что в лабораторном тесте создаются наиболее благоприятные условия для развития инфекции [29], а для заражения использовался сложный инокулом различных рас патогена. Данные различия также можно объяснить вкладом других органов растения в развитие устойчивости [30]. Следует также учитывать, что на горизонтальную устойчивость оказывают влияние условия окружающей среды. Поэтому при оценке стабильности устойчивости к фитофторе очень важно подвергать изучаемые образцы воздействию сложных изолятов *P. infestans* в контрастных условиях в лабораторных тестах [31].

Многие авторы отмечают слабую связь между устойчивостью к фитофторозу листьев и клубней картофеля [29]. Согласно полученным нами данным, корреляция между устойчивостью листьев и клубней в изучаемой выборке также отсутствует (коэффициент корреляции Пирсона – 0,03). Устойчивость ботвы и клубней проявляется независимо и контролируется, по-видимому, разными системами полигенов. Поэтому для выделения генотипов, сочетающих обе эти устойчивости, требуется получение и анализ большого объема гибридного материала.

По устойчивости клубней к заражению фитофторозом в лабораторных условиях генотипы распределились следующим образом: 12 очень высокоустойчивых, 19 высокоустойчивых, 11 среднеустойчивых, 4 низкоустойчивых.

Устойчивость к фитофторозу клубней, как и листьев, является полигенным признаком, гибриды с устойчивыми к фитофторозу клубнями можно получить при использовании любого материала, хотя частота их появления прямо пропорциональна устойчивости родительских форм. Нами выделен ряд форм картофеля с пигментированной мякотью клубней, сочетающих обе устойчивости на высоком уровне.

Таблица 3

Устойчивость к фитофторозу новых перспективных гибридов картофеля с пигментированной мякотью клубней

№ п/п	Селекционный номер	Происхождение	Лабораторная оценка листьев, балл			Полевая устойчивость, балл	Лабораторная оценка устойчивости клубней, балл
			1-й учет	2-й учет	Итог. балл		
1	686A-58-21	54-10-3 × Терра Роза	7	6,7	6,85	7	5,6
2	686A-19-21	54-10-3 × Терра Роза	7	7	7	9	6,4
3	687A-18-21	(M16 × 31TC) × Гала	7	5,6	6,3	7	7,2
4	621-2-21	Успех × Терра Роза	7	5,6	6,3	7	5,8
5	683-1-21	60-10-6 × Терра Роза	5	4,2	4,6	9	6,8
6	608-56-21	Барин × Терра Роза	6	4,6	5,3	7	6,2
7	687A-4-21	(M16 × 31TC) × Гала	6	5,6	5,8	9	6,7
8	686A-4-21	54-10-3 × Терра Роза	6	5,5	5,75	9	3,4
9	687A-5-21	(M16 × 31TC) × Гала	6,6	4,3	5,45	7	6
10	687A-1-21	(M16 × 31TC) × Гала	6	5,8	5,9	7	2,6
11	633-2-21	59Y01-3 × Терра Роза	8	5,3	6,65	9	3,8
12	654-1-21	M16-31Tc × Терра Роза	6	5,6	5,8	9	4,6
13	686A-18-21	54-10-3 × Терра Роза	6	5,3	5,65	7	7
14	686A-9-21	54-10-3 × Терра Роза	5,6	5,3	5,45	9	4,2
15	613-1-21	KC211XY04-10 × Гала	6	5,3	5,65	7	7
16	608-58-21	Барин × Терра Роза	8	7,9	7,95	7	9
17	623-1-21	726 × 46-98-6	4	2,1	3,05	3	7,8
18	654-2-21	M16-31Tc × Терра Роза	7	6,2	6,6	7	4,4
19	686A-17-21	54-10-3 × Терра Роза	5	3,6	4,3	9	4,7
20	623-2-21	726 × 46-98-6	6	4,4	5,2	9	6,2
21	686A-21-21	54-10-3 × Терра Роза	6	4,3	5,15	7	5,2
22	654-3-21	M16-31Tc × Терра Роза	7	5,7	6,35	9	8,4
23	662-3-21	(1229 × 5/1 ЦВ) + (Лель × 5/1)	6	4,8	5,4	9	3
24	687A-17-21	(M16 × 31TC) × Гала	6	5,2	5,6	9	4,9
25	617-2-21	4421-13 × Blue Congo	6	3,6	4,8	5	3
26	686A-14-21	54-10-3 × Терра роза	6	2,5	4,25	5	5
27	618-1-21	1049 × Бриз	6	2,8	4,4	9	1
28	686A-10-21	54-10-3 × Терра Роза	6	3	4,5	9	4,8
29	686A-46-21	54-10-3 × Терра Роза	7,6	6,9	7,25	7	7,8
30	3178-22	Кумач × Блю Конго	5,6	1,6	3,6	5	6,8
31	3164-22	5 cip 302290.23	7	3,4	5,2	7	6,55
32	3175-22	2775-10 × Роза Монтана	8	8	8	9	5,5
33	3174-22	705029 × Кенза	5,6	2,4	4	5	4,6
34	3163-22	2cip 302289.41	6	5,3	5,65	9	7,2
35	3179-22	Лекарь × Роза Монтана	5,6	3,96	4,78	5	9
36	3170-22	Василек × Роза Монтана	5,3	2,8	4,05	5	6,7
37	3171-22	Салатовый голубой × свободное опыление	6	5,1	5,55	9	7,7

Окончание таблицы 3

Агротехнологии

38	3169-22	Лекарь × Роза Монтана	6	4	5	5	6,2
39	3177-22	705029 × Гала	5,8	1	3,4	5	3,2
40	3167-22	Кумач × Блю Конго	5,5	3,8	4,65	5	5,9
41	3173-22	Алл Ред × Блю Конго	5	3	4	5	7
42	3166-22	Алл Блю × Гала	4,8	1	2,9	3	7
43	3168-22	Северное сияние × Русский сувенир	8	7,4	7,7	9	8,4
44	3165-22	Блю Конго × Беллароза	6	5	5,5	7	8
45	3176-22	Пигмей × Блю Конго	6	1	3,5	5	8,6
46	3172-22	4421-7 × Роза Монтана	6,8	6,8	6,8	7	8,6
47	Отрицательный контроль	Sarpo Mira	7,0	6,3	6,7	9,0	9,0
48	Положительный контроль	Ильинский	5,0	4,6	4,8	7,0	5,6

Table 3
Resistance to late blight of new promising potato hybrids with pigmented tuber flesh

No.	Breeding number	Origin	Laboratory assessment of leaves, score			Field resistance, score	Laboratory assessment of tuber resistance, score
			1st count	2nd count	Overall score		
1	686A-58	54-10-3 × Terra Rosa	7	6,7	6,85	7	5,6
2	686A-19	54-10-3 × Terra Rosa	7	7	7	9	6,4
3	687A-18	(M16 × 31TC) × Gala	7	5,6	6,3	7	7,2
4	621-2-21	Uspekh × Terra Rosa	7	5,6	6,3	7	5,8
5	683-1-21	60-10-6 × Terra Rosa	5	4,2	4,6	9	6,8
6	608-56-21	Barin × Terra Rosa	6	4,6	5,3	7	6,2
7	687A-4	(M16 × 31TC) × Gala	6	5,6	5,8	9	6,7
8	686A-4	54-10-3 × Terra Rosa	6	5,5	5,75	9	3,4
9	687A-5	(M16 × 31TC) × Gala	6,6	4,3	5,45	7	6
10	687A-1	(M16 × 31TC) × Gala	6	5,8	5,9	7	2,6
11	633-2-21	59Y01-3 × Terra Rosa	8	5,3	6,65	9	3,8
12	654-1	(M16 × 31TC) × Gala	6	5,6	5,8	9	4,6
13	686A-18	54-10-3 × Terra Rosa	6	5,3	5,65	7	7
14	686A-9	54-10-3 × Terra Rosa	5,6	5,3	5,45	9	4,2
15	613-1-21	KS211KhU04-10 × Gala	6	5,3	5,65	7	7
16	608-58-21	Barin × Terra rosa	8	7,9	7,95	7	9
17	623-1-21	726 × 46-98-6	4	2,1	3,05	3	7,8
18	654-2-21	(M16 × 31TC) × Gala	7	6,2	6,6	7	4,4
19	686A-17	54-10-3 × Terra Rosa	5	3,6	4,3	9	4,7
20	623-2-21	726 × 46-98-6	6	4,4	5,2	9	6,2
21	686A-21	54-10-3 × Terra Rosa	6	4,3	5,15	7	5,2
22	654-3-21	(M16 × 31TC) × Gala	7	5,7	6,35	9	8,4
23	662-3-21	(1229 × 5/1TsV) × (Lel' × 5/1)	6	4,8	5,4	9	3
24	687A-17	(M16 × 31TC) × Gala	6	5,2	5,6	9	4,9
25	617-2-21	4421-13 × Blue Congo	6	3,6	4,8	5	3
26	686A-14	54-10-3 × Terra Rosa	6	2,5	4,25	5	5

End of the table 3

27	618-1-21	1049 × Briz	6	2,8	4,4	9	1
28	686A-10	54-10-3 × Terra Rosa	6	3	4,5	9	4,8
29	686A-46	54-10-3 × Terra Rosa	7,6	6,9	7,25	7	7,8
30	3178-22	Kumach × Blue Congo	5,6	1,6	3,6	5	6,8
31	3164-22	5 cip 302290.23	7	3,4	5,2	7	6,55
32	3175-22	2775-10 × Rosa Montana	8	8	8	9	5,5
33	3174-22	705029 × Kenza	5,6	2,4	4	5	4,6
34	3163-22	2cip 302289.41	6	5,3	5,65	9	7,2
35	3179-22	Lekar' × Rosa Montana	5,6	3,96	4,78	5	9
36	3170-22	Vasilek × Rosa Montana	5,3	2,8	4,05	5	6,7
37	3171-22	Salatovyy goluboy × open pollination	6	5,1	5,55	9	7,7
38	3169-22	Lekar' × Rosa Montana	6	4	5	5	6,2
39	3177-22	705029 × Gala	5,8	1	3,4	5	3,2
40	3167-22	Kumach × Blue Congo	5,5	3,8	4,65	5	5,9
41	3173-22	All Red × Blue Congo	5	3	4	5	7
42	3166-22	All Blue × Gala	4,8	1	2,9	3	7
43	3168-22	Severnoye siyaniye × Russkiy suvenir	8	7,4	7,7	9	8,4
44	3165-22	Blue Congo × Bellarosa	6	5	5,5	7	8
45	3176-22	Pigmey × Blue Congo	6	1	3,5	5	8,6
46	3172-22	4421-7 × Rosa Montana	6,8	6,8	6,8	7	8,6
47	Positive control	Sarpo Mira	7,0	6,3	6,7	9,0	9,0
48	Negative control	Il'inskiy	5,0	4,6	4,8	7,0	5,6

Среди изученных перспективных гибридов выделился 3168-22, который показал очень высокую стабильную устойчивость по всем трем критериям оценки. Также следует отметить гибриды 686A-19-21, 687A-18-21, 687A-4-21, 608-58-21, 623-2-21, 654-3-21, 686A-46-21, 3175-22, 3163-22, 3171-22, 3165-22, 3172-22, сочетающие очень высокую и высокую степени полевой устойчивости и устойчивости листьев и клубней. Гибриды 686A-58-21, 621-2-21, 608-56-21, 687A-5-21, 686A-18-21, 613-1-21, 686A-21-21, 3164-22 показали стабильно высокую устойчивость по всем трем критериям. Использование их в дальнейшей селекции позволит существенно повысить выход гибридов с нужным уровнем устойчивости.

У новых перспективных форм картофеля с пигментированной мякотью клубней было определено наличие маркеров четырех *R*-генов устойчивости к фитофторозу. Выявленные маркеры генов *R1*, *R2*, *R3a*, *R3b*, вероятно, были перенесены в геном картофеля из *S. demissum*. Маркеры генов устойчивости *Rpi-blb1*, *Rpi-sto1* в исследуемом материале обнаружены не были, что может указывать на то, что такие виды, как *S. bulbocastanum* и *S. stoloniferum*,

из геномов которых, вероятно, были перенесены данные маркеры, в родословной изучаемых гибридов отсутствуют.

В таблице 4 представлены результаты ДНК-маркирования генов устойчивости к фитофторозу перспективных гибридов картофеля с пигментированной мякотью клубней.

Только в генотипе образца 3175-22 идентифицированы сразу 4 маркера генов устойчивости. В генотипе 686A-14 обнаружено 3 маркера. Из исследуемых образцов 9 сочетают 2 гена, 15 образцов имеют только один ген устойчивости. Наиболее часто встречающимся маркером среди изучаемых образцов, в том числе в сочетании с другими маркерами, является *R3b*. У 20 генотипов не выявлено ни одного из анализируемых ДНК-маркеров (таблица 5).

Не было установлено зависимости между наличием маркеров *Rpi*-генов, их количеством и лабораторной устойчивостью изучаемых образцов. Образцы 621-2-21, 608-56-21, 686A-18-21, 613-1-21, 608-58-21, 686A-46-21, 3163-22, 3165-22 показали стабильную высокую полевую и лабораторную устойчивость листьев и клубней, несмотря на отсутствие соответствующих маркеров.

Таблица 4

Наличие маркеров устойчивости к фитофторозу у перспективных гибридов с пигментированной мякотью

Агротехнологии

№ п/п	Селекционный номер	Происхождение	Маркеры генов устойчивости к фитофторозу			
			R1-1250	R2-686	R3a-1380	R3b-378
			Ген R1	Ген R2	Ген R3a	Ген R3b
1	686A-58-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–	–	+
2	686A-19-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–	–	+
3	687A-18-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	–	+
4	621-2-21	Успех × Терра Роза	–	–	–	–
5	683-1-21	60-10-6 × Терра Роза	–	–	+	+
6	608-56-21-21	Барин × Терра Роза	–	–	–	–
7	687A-4-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	+	–	+
8	686A-4-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–	–	–
9	687A-5-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	+	+
10	687A-1-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	–	–
11	633-2-21	59Y01-3 × Терра Роза	–	–	–	+
12	654-1-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	+	+
13	686A-18-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–	–	–
14	686A-9-21	54-10-3 × Терра Роза	+	–	–	–
15	613-1-21	KC211XU04-10 × Гала	–	–	–	–
16	608-58-21	Барин × Терра Роза	–	–	–	–
17	623-1-21	726 × 46-98-6	–	–	–	+
18	654-2-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	–	+
19	686A-17-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–	–	–
20	623-2-21	726 × 46-98-6	+	–	–	+
21	686A-21	54-10-3 × Терра Роза	+	–	–	+
22	654-3-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	–	+
23	662-3-21	(1229 × 5/1ЦВ) × (Лель × 5/1)	–	–	–	–
24	687A-17-21	(M16 × 31TC) × Гала	–	–	–	–
25	617-2-21	4421-13 × Блю Конго	–	–	–	+
26	686A-14-21	54-10-3 × Терра Роза	+	–	+	+
27	618-1-21	1049 × Бриз	–	–	–	+
28	686A-10-21	54-10-3 × Терра Роза	+	–	–	–
29	686A-46-21	54-10-3 × Терра Роза	–	–		–
30	3178-22	Кумач × Блю Конго	–	–	–	–
31	3164-22	5 сир 302290.23	–	–	+	+
32	3175-22	2775-10 × Роза Монтана	+	+	+	+
33	3174-22	705029 × Кенза	–	–	–	–
34	3163-22	2сир 302289.41	–	–	–	–
35	3179-22	Лекарь × Роза Монтана	–	–	–	–
36	3170-22	Василек × Роза Монтана	–	–	–	–
37	3171-22	Салатовый голубой × свободное опыление	+	–	–	–
38	3169-22	Лекарь × Роза Монтана	+	–	–	–
39	3177-22	705029 × Гала	+	+	–	–
40	3167-22	Кумач × Блю Конго	–	–	–	–
41	3173-22	Алл Ред × Блю Конго	–	–	–	–
42	3166-22	Алл Блю × Гала	–	–	–	–
43	3168-22	Северное сияние × Русский сувенир	–	+	–	–
44	3165-22	Блю Конго × Беллароза	–	–	–	–
45	3176-22	Пигмей × Блю Конго	+	+	–	–
46	3172-22	4421-7 × Роза Монтана	–	+	–	–

Table 4

Presence of late blight resistance markers in promising hybrids with pigmented flesh

No.	Breeding number	Origin	Markers of late blight resistance genes			
			R1-1250	R2-686	R3a-1380	R3b-378
			gene R1	gene R2	gene R3a	gene R3b
1	686A-58	54-10-3 × Terra Rosa	–	–	–	+
2	686A-19	54-10-3 × Terra Rosa	–	–	–	+
3	687A-18	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	–	+
4	621-2-21	Uspekh × Terra Rosa	–	–	–	–
5	683-1-21	60-10-6 × Terra Rosa	–	–	+	+
6	608-56-21	Barin × Terra Rosa	–	–	–	–
7	687A-4	(M16 × 31TC) × Gala	–	+	–	+
8	686A-4	54-10-3 × Terra Rosa	–	–	–	–
9	687A-5	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	+	+
10	687A-1	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	–	–
11	633-2-21	59Y01-3 × Terra Rosa	–	–	–	+
12	654-1	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	+	+
13	686A-18	54-10-3 × Terra Rosa	–	–	–	–
14	686A-9	54-10-3 × Terra Rosa	+	–	–	–
15	613-1-21	KS211KhU04-10 × Gala	–	–	–	–
16	608-58-21	Barin × Terra Rosa	–	–	–	–
17	623-1-21	726 × 46-98-6	–	–	–	+
18	654-2-21	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	–	+
19	686A-17	54-10-3 × Terra Rosa	–	–	–	–
20	623-2-21	726 × 46-98-6	+	–	–	+
21	686A-21	54-10-3 × Terra Rosa	+	–	–	+
22	654-3-21	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	–	+
23	662-3-21	(1229 × 5/ITsV) × (Lel' × 5/1)	–	–	–	–
24	687A-17	(M16 × 31TC) × Gala	–	–	–	–
25	617-2-21	4421-13 × Blue Congo	–	–	–	+
26	686A-14	54-10-3 × Terra Rosa	+	–	+	+
27	618-1-21	1049 × Briz	–	–	–	+
28	686A-10	54-10-3 × Terra Rosa	+	–	–	–
29	686A-46	54-10-3 × Terra Rosa	–	–		–
30	3178-22	Kumach × Blue Congo	–	–	–	–
31	3164-22	5 cip 302290.23	–	–	+	+
32	3175-22	2775-10 × Rosa Montana	+	+	+	+
33	3174-22	705029 × Kenza	–	–	–	–
34	3163-22	2cip 302289.41	–	–	–	–
35	3179-22	Lekar' × Rosa Montana	–	–	–	–
36	3170-22	Vasilek × Rosa Montana	–	–	–	–
37	3171-22	Salatovyy goluboy × open pollination	+	–	–	–
38	3169-22	Lekar' × Rosa Montana	+	–	–	–
39	3177-22	705029 × Gala	+	+	–	–
40	3167-22	Kumach × Blue Congo	–	–	–	–
41	3173-22	All Red × Blue Congo	–	–	–	–
42	3166-22	All Blue × Gala	–	–	–	–
43	3168-22	Severnoye siyaniye × Russkiy suvenir	–	+	–	–
44	3165-22	Blue Congo × Bellarosa	–	–	–	–
45	3176-22	Pigmey × Blue Congo	+	+	–	–
46	3172-22	4421-7 × Rosa Montana	–	+	–	–

Таблица 5

Частота встречаемости генотипов в исследуемой выборке

Генотип	Количество образцов	Частота встречаемости
R1	4	0,086956522
R2	2	0,043478261
R3b	9	0,195652174
R1R2	2	0,043478261
R1R3b	2	0,043478261
R2R3b	1	0,02173913
R3aR3b	4	0,086956522
R1R3aR3b	1	0,02173913
R1R2R3aR3b	1	0,02173913
Маркеры отсутствуют	20	0,434782609

Table 5

Frequency of genotypes in the study sample

Genotype	Number of samples	Frequency
R1	4	0.086956522
R2	2	0.043478261
R3b	9	0.195652174
R1R2	2	0.043478261
R1R3b	2	0.043478261
R2R3b	1	0.02173913
R3aR3b	4	0.086956522
R1R3aR3b	1	0.02173913
R1R2R3aR3b	1	0.02173913
No markers	20	0.434782609

Многие авторы исследовали взаимосвязь между наличием *Rpi*-генов и устойчивостью картофеля к фитофторе как полевой, так и в лабораторных тестах. Некоторые отмечают тесную связь устойчивости по результатам полевых и лабораторных тестов с присутствием *R*-генов, причем устойчивость возрастала с увеличением числа выявленных маркеров [29]. Степень устойчивости также объяснялась не только количеством, но и комбинацией *R*-генов. В то же время в других работах показано отсутствие четких корреляций между количеством выявленных маркеров *Rpi*-генов и уровнем устойчивости [32].

Отсутствие заметных корреляций между лабораторной и полевой устойчивостью, а также наличием и количеством идентифицированных маркеров *Rpi*-генов может быть связано с тем, что в исследуемых образцах были обнаружены маркеры этих генов, предположительно связанные с *S. demissum*. Появление новых вирулентных штаммов *P. infestans* во многом способствовало преодолению устойчивости, полученной от *S. demissum*. В изучаемых образцах отсутствовали маркеры генов от *S. stoloniferum* и *S. bulbocastanum*, контролирующих устойчивость к более широкому спектру рас фитофторы. Скрининг на наличие маркеров, которые ассоциированы с другими видами *Solanum*, например, такими как *S. venturi* (маркер *Rpi-vnt1*), в нашем исследовании не проводился. Наличие в

родословной перечисленных видов и других видов *Solanum*, несущих *R*-гены, ранее не задействованные в крупномасштабной селекции, могло бы замедлить преодоление устойчивости.

Еще одной причиной отсутствия видимых связей может быть использование в лабораторных тестах сложного инокулята, содержащего различные расы *P. Infestans*. Ряд генотипов с наличием маркеров двух генов устойчивости, например 3177-22, по результатам лабораторной и полевой оценки оказался менее устойчив, чем с одним геном (3168-22). Таким образом, в данном исследовании однозначно оценить вклад горизонтальной и вертикальной устойчивости не представляется возможным. Это подтверждает сложный характер генетического контроля признака фитофтороустойчивости, которую могут обеспечивать другие гены вертикальной устойчивости в сочетании с генами горизонтальной устойчивости.

При заражении вирулентной расой фитофторы степень пораженности растений с одними и теми же *R*-генами бывает различной и зависит от присутствия полигенов, контролирующих полевую (горизонтальную) устойчивость. *R*-гены обеспечивают иммунитет к определенным расам гриба, но при появлении новых рас защитного действия не оказывают, поэтому селекция на фитофтороустойчивость, основанная лишь на доминантных генах вертикаль-

ной устойчивости, малоэффективна, и необходимо комбинировать обе устойчивости [28].

Действие *R*-генов не всегда распространяется на клубни, и последние могут поражаться расами, к которым листья устойчивы. Это связано, по-видимому, с пониженным уровнем метаболической активности клубней и поэтому с медленным протеканием активных защитных реакций, которые в листьях идут с достаточной скоростью.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты оценки новых гибридов картофеля с пигментированной мякотью клубней свидетельствуют об отсутствии генетических барьеров в совмещении высокой фитофтороустойчивости ботвы и клубней с повышенным содержанием антоцианов.

Устойчивые к фитофторозу гибриды выщепляются практически во всех комбинациях, хотя их количество различно, что обусловлено особенностями родительских генотипов и спецификой первоначального отбора, при котором предпочтение отдается урожайности и качеству клубней. При этом первоначальная полевая оценка фитофтороустойчивости не всегда возможна в отсутствие подходящих условий для массового развития гриба.

Следует отметить возникновение положительных трансгрессий, которые дают возможность подбирать компоненты для скрещиваний также среди форм, слабо и средне поражаемых патогеном, но с другими хозяйственно ценными признаками [28].

В результате изучения около 3000 гибридов, полученных в 23 гибридных комбинациях скрещива-

ний, выделены перспективные формы, сочетающие высокую устойчивость к фитофторозу с пигментированной мякотью клубней и комплексом других хозяйственно ценных признаков.

Среди новых перспективных гибридов картофеля с пигментированной мякотью клубней нами выделены формы, которые характеризуются высокой устойчивостью листьев и клубней. Их высокая устойчивость подтверждается лабораторными тестами и трехлетней оценкой в полевых условиях на естественном инфекционном фоне.

В настоящее время ассортимент картофеля с цветной мякотью довольно ограничен. Создание новых форм картофеля с высоким содержанием антоцианов не только решает задачу расширения разнообразия существующего сортимента, но и способствует выделению новых источников и доноров этих признаков для селекции, так как полученные нами формы представляют следующую генерацию гибридов с новым уровнем и сочетанием хозяйственно ценных признаков.

Однако потенциал генетической изменчивости и возможности традиционных методов селекции в дальнейшем повышении продуктивности и качества урожая форм картофеля с повышенной питательной ценностью далеко не исчерпаны.

Селекция устойчивого к фитофторозу сорта ввиду сложного полигенного контроля и наследования большинства хозяйственно ценных признаков всегда в конечном своем выражении представляет компромисс с урожайностью и качеством.

Библиографический список

1. Eichhorn C., Winterhalter P. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties // Food Research International. 2005. No. 38. Pp. 943–948. DOI: 10.1016/j.foodres.2005.03.011.
2. Поливанова О. Б., Гинс Е. М. Антиоксидантная активность пигментированного картофеля (*Solanum tuberosum* L.), содержание антоцианов, их биосинтез и физиологическая роль // Овощи России. 2019. № 6 (50). С. 84–90. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-6-84-90.
3. Jo K. R., Kim C. J., Kim S. J., Kim T. Y., Bergervoet M., Jongsma M. A., Visser R. G., Jacobsen E., Vossen J. H. Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking // BMC Biotechnology. 2014. No. 14. Article number 50. DOI: 10.1186/1472-6750-14-50.
4. Rogozina E. V., Gurina A. A., Chalaya N. A., Zoteyeva N. M., Kuznetsova M. A., Beketova M. P., Muratova O. A., Sokolova E. A., Drobyazina P. E., Khavkin E. E. Diversity of Late Blight Resistance Genes in the VIR Potato Collection // Plants. 2023. No. 12 (2). Article number 273. DOI: 10.3390/plants12020273.
5. Haverkort A. J., Boonekamp P. M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L. A. P., Kessel G. J. T., Vossen J. H., Visser R. G. F. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project // Potato Research. 2016. No. 59. Pp. 35–66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6.
6. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding // Planta. 2022. No. 255. Article number 127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6.
7. Meade F., Hutten R., Wagener S., Prigge V., Dalton E., Kirk H. G., Griffin D., Milbourne D. Detection of novel QTLs for late blight resistance derived from the wild potato species *Solanum microdontum* and *Solanum pampasense* // Genes. 2020. No. 11 (7). Article number 732. DOI: 10.3390/genes11070732.
8. Tiwari J. K., Rawat S., Luthra S. K., Zinta R., Sahu S., Varshney S., Kumar V., Dalamu D., Mandadi N., Kumar M., Chakrabarti S. K., Rao A. R., Rai A. Genome sequence analysis provides insights on genomic variation and late blight resistance genes in potato somatic hybrid (parents and progeny) // Molecular Biology Reports. 2021. No. 48 (1). Pp. 623–635. DOI: 10.1007/s11033-020-06106-x.

9. Kieu N. P., Lenman M., Wang E. S., Petersen B. L., Andreasson E. Mutations introduced in susceptibility genes through CRISPR/Cas9 genome editing confer increased late blight resistance in potatoes // *Scientific Reports*. 2021. No. 11. Article number 4487. DOI: 10.1038/s41598-021-83972-w.
10. Hegde N., Joshi S., Soni N., Kushalappa A. C. The caffeoyl-CoA O-methyltransferase gene SNP replacement in Russet Burbank potato variety enhances late blight resistance through cell wall reinforcement // *Plant Cell Reports*. 2021. No. 40 (1). Pp. 237–254. DOI: 10.1007/s00299-020-02629-6.
11. Angmo D., Sharma S. P., Kalia A. Breeding strategies for late blight resistance in potato crop: recent developments // *Molecular Biology Reports*. 2023. No. 50 (9). Pp. 7879–7891. DOI: 10.1007/s11033-023-08577-0.
12. Duan Y., Duan S., Xu J., Zheng J., Hu J., Li X., Li B., Li G., Jin L. Late blight resistance evaluation and genome-wide assessment of genetic diversity in wild and cultivated potato species // *Frontiers in Plant Science*. 2021. No. 12. Article number 710468. DOI: 10.3389/fpls.2021.710468.
13. Cucak M., de Andrade Moral R., Fealy R., Lambkin K., Kildea S. Opportunities for improved potato late blight management in the republic of ireland: field evaluation of the modified irish rules crop disease risk prediction model // *Phytopathology*. 2021. No. 111 (8). Pp. 1349–1360. DOI: 10.1094/PHYTO-01-20-0011-R.
14. Dalamu, Tiwari J. K., Bairwa A., Bhatia N., Zinta R., Kaushal N., Kumar V., Sharma A. K., Sharma S., Choudhary B., Luthra S. K., Buckseth T., Singh R. K., Thakur A. K., Kumar M., Kumar D. Resistance evaluation for native potato accessions against late blight disease and potato cyst nematodes by molecular markers and phenotypic screening in India // *Life*. 2022. No. 13 (1). Article number 33. DOI: 10.3390/life13010033.
15. Perez W., Alarcon L., Rojas T., Correa Y., Juarez H., Andrade-Piedra J. L., Anglin N. L., Ellis D. Screening south american potato landraces and potato wild relatives for novel sources of late blight resistance // *Plant Disease*. 2022. No. 106 (7). Pp. 1845–1856. DOI: 10.1094/PDIS-07-21-1582-RE.
16. Дзедаев Х. Т., Газданова И. О., Бекмурзов Б. В. Биологическая борьба с фитофторозом картофеля, вызываемым *Phytophthora infestans* // *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23, № 09. С. 2–10.
17. Симаков Е. А. Складорова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. Москва: Достижения науки и техники АПК, 2006. 70 с.
18. Барков В. А. Методика исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и нематод. Москва: ВНИИКС, 1995. 108 с.
19. Зотеева Н., Зимнох-Гузовская Е. Новый метод оценки устойчивости клубней картофеля к фитофторозу // *Микология и фитопатология*. 2004. Т. 38, № 1. С. 89–93.
20. Blatnik E., Horvat M., Berne S., Humar M., Dolničar P., Meglič V. Late blight resistance conferred by Rpi-smira2/r8 in potato genotypes in vitro depends on the genetic background // *Plants*. 2022. No. 11 (10). Article number 1319. DOI: 10.3390/plants11101319.
21. Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Kuznetsova M., Spiglazova S., Rogozina E., Yashina I., Khavkin E. SCAR markers of the R-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars // *Plant Genetic Resources*. 2011. No. 9 (2). Pp. 309–312. DOI: 10.1017/S1479262111000347.
22. Kim H. J., Lee H. R., Jo K. R. et al. Broad spectrum late blight resistance in potato differential set plants MaR8 and MaR9 is conferred by multiple stacked R genes // *Theoretical and Applied Genetics*. 2012. No. 124. Pp. 923–935. DOI: 10.1007/s00122-011-1757-7.
23. Wang M., Allefs S., van den Berg R. G., Vleeshouwers V. G., van der Vossen E. A., Vosman B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in *Solanum stoloniferum* // *Theoretical and Applied Genetics*. 2008. Vol. 116. Pp. 933–943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3.
24. Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L. M., Lee H. R., Vossen J. H., Jacobsen E., Visser R. G., Kamoun S., Vleeshouwers V. G. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012. No. 25 (7). Pp. 910–919. DOI: 10.1094/MPMI-01-12-0010-R.
25. Zhu S., Li Y., Vossen J. H., Visser R. F., Jacobsen E. Functional stacking of three resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato // *Transgenic Research*. 2012. No. 21. Pp. 89–99. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1.
26. Sagai-Maroo M. A., Soliman K. M., Jorgensen R. A., Allard R. W. Ribosomal DNA spacer-length polymorphism in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1984. No. 81. Pp. 8014–8018. DOI: 10.1073/pnas.81.24.8014.
27. Sharma B. P., Gregory A. F., Hira K. M., Sundar M. S., Resham B. T. Determination of Resistance to *Phytophthora infestans* on Potato Plants in Field, Laboratory and Greenhouse Conditions // *Journal of Agricultural Science*. 2013. No. 5 (5). Pp. 148–157. DOI: 10.5539/jas.v5n5p148.
28. Будин К. З. Генетические основы селекции картофеля. Ленинград: Агропромиздат, 1986. С. 61–66.
29. Фадинова О. А., Бекетова М. П., Соколова Е. А., Кузнецова М. А., Сметанина Т. И., Рогозина Е. В., Хавкин Э. Е. Упреждающая селекция: использование молекулярных маркеров при создании доноров

устойчивости картофеля (*Solanum tuberosum* L.) к фитофторозу на основе сложных межвидовых гибридов // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 1. С. 84–94. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.84rus.

30. Fry W. E. *Phytophthora infestans*: New tools (and old ones) lead to new understanding and precision management // Annual Review of Phytopathology. 2016. No. 54. Pp. 529–547. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080615-095951.

31. Gastelo M., Perez W., Quispe K. et al. Phenotypic stability and correlation for late blight resistance in advanced potato clones under field and controlled conditions // American Journal of Potato Research. 2022. No. 99. Pp. 150–159. DOI: 10.1007/s12230-022-09861-8.

32. Mahfouze H. A., El-Sayed O. E., Mahfouze S. A. Characterization of resistance genes to late blight (*Phytophthora infestans*) in potato by marker-assisted selection // Journal of Applied Biology & Biotechnology. 2023. No. 11 (2). Pp. 178–186. DOI: 10.7324/JABB.2023.110218.

Об авторах:

Алина Кирилловна Королева, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории генетики, ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия; ORCID 0000-0001-7647-848X, AuthorID 1037547. *E-mail: alkoroleva18@mail.ru*

Марина Константиновна Деревягина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений, ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия; ORCID 0000-0002-4131-3965, AuthorID 310470. *E-mail: vzeyruk@mail.ru*

Виктория Александровна Бирюкова, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией молекулярных методов анализа генома, ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия; ORCID 0000-0001-7521-6883, AuthorID 151131. *E-mail: vika_biryukova@inbox.ru*

Оксана Борисовна Поливанова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий, ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия; ORCID 0000-0002-3992-5452, AuthorID 920037. *E-mail: polivanovaoks@gmail.com*

Олег Геннадьевич Казаков, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией генетики, ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, Московская область, д. п. Красково, Россия; ORCID 0000-0002-4131-3965, AuthorID 334383. *E-mail: kazakov-og@yandex.ru*

References

1. Eichhorn C., Winterhalter P. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Food Research International*. 2005; 38: 943–948. DOI: 10.1016/j.foodres.2005.03.011.

2. Polivanova O. B., Gins E. M. Antioxidant activity of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and anthocyanin content, its biosynthesis and physiological role. *Vegetable crops of Russia*. 2019; 6 (50): 84–90. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-6-84-90. (In Russ.)

3. Jo K. R., Kim C. J., Kim S. J., Kim T. Y., Bergervoet M., Jongsma M. A., Visser R. G., Jacobsen E., Vossen J. H. Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. *BMC Biotechnology*. 2014; 14: 50. DOI: 10.1186/1472-6750-14-50.

4. Rogozina E. V., Gurina A. A., Chalaya N. A., Zoteyeva N. M., Kuznetsova M. A., Beketova M. P., Muratova O. A., Sokolova E. A., Drobyazina P. E., Khavkin E. E. Diversity of Late Blight Resistance Genes in the VIR Potato Collection. *Plants*. 2023; 12 (2): 273. DOI: 10.3390/plants12020273.

5. Haverkort A. J., Boonekamp P. M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L. A. P., Kessel G. J. T., Vossen J. H., Visser R. G. F. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project. *Potato Research*. 2016; 59: 35–66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6.

6. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022; 255: 127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6.

7. Meade F., Hutten R., Wagener S., Prigge V., Dalton E., Kirk H. G., Griffin D., Milbourne D. Detection of novel qtls for late blight resistance derived from the wild potato species *Solanum microdontum* and *Solanum pampasense*. *Genes*. 2020; 11 (7): 732. DOI: 10.3390/genes11070732.

8. Tiwari J. K., Rawat S., Luthra S. K., Zinta R., Sahu S., Varshney S., Kumar V., Dalamu D., Mandadi N., Kumar M., Chakrabarti S. K., Rao A. R., Rai A. Genome sequence analysis provides insights on genomic variation and late blight resistance genes in potato somatic hybrid (parents and progeny). *Molecular Biology Reports*. 2021; 48 (1): 623–635. DOI: 10.1007/s11033-020-06106-x.

9. Kieu N. P., Lenman M., Wang E. S., Petersen B. L., Andreasson E. Mutations introduced in susceptibility genes through CRISPR/Cas9 genome editing confer increased late blight resistance in potatoes. *Scientific Reports*. 2021; 24; 11 (1): 4487. DOI: 10.1038/s41598-021-83972-w.

10. Hegde N., Joshi S., Soni N., Kushalappa A. C. The caffeoyl-CoA O-methyltransferase gene SNP replacement in Russet Burbank potato variety enhances late blight resistance through cell wall reinforcement. *Plant Cell Reports*. 2021; 40 (1): 237–254. DOI: 10.1007/s00299-020-02629-6.
11. Angmo D., Sharma S. P., Kalia A. Breeding strategies for late blight resistance in potato crop: recent developments. *Molecular Biology Reports*. 2023; 50 (9): 7879–7891. DOI: 10.1007/s11033-023-08577-0.
12. Duan Y., Duan S., Xu J., Zheng J., Hu J., Li X., Li B., Li G., Jin L. Late blight resistance evaluation and genome-wide assessment of genetic diversity in wild and cultivated potato species. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 710468. DOI: 10.3389/fpls.2021.710468.
13. Cucak M., de Andrade Moral R., Fealy R., Lambkin K., Kildea S. Opportunities for improved potato late blight management in the republic of ireland: field evaluation of the modified irish rules crop disease risk prediction model. *Phytopathology*. 2021; 111 (8): 1349–1360. DOI: 10.1094/PHYTO-01-20-0011-R.
14. Dalamu, Tiwari J. K., Bairwa A., Bhatia N., Zinta R., Kaushal N., Kumar V., Sharma A. K., Sharma S., Choudhary B., Luthra S. K., Buckseth T., Singh R. K., Thakur A. K., Kumar M., Kumar D. Resistance evaluation for native potato accessions against late blight disease and potato cyst nematodes by molecular markers and phenotypic screening in India. *Life*. 2022; 13 (1): 33. DOI: 10.3390/life13010033.
15. Perez W., Alarcon L., Rojas T., Correa Y., Juarez H., Andrade-Piedra J. L., Anglin N. L., Ellis D. Screening south american potato landraces and potato wild relatives for novel sources of late blight resistance. *Plant Disease*. 2022; 106 (7): 1845–1856. DOI: 10.1094/PDIS-07-21-1582-RE.
16. Dzedaev Kh. T., Gazdanova I. O., Bekmurzov B. V. Biological control of Phytophthora infestans in potatoes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (09): 2–10. (In Russ.)
17. Simakov E. A. Sklyarova N. P., Yashina I. M. Guidelines for the technology of the potato breeding process. Moscow: Achievements of science and technology of the agro-industrial complex, 2006. 70 p. (In Russ.)
18. Barkov V. A. Research methodology for protecting potatoes from diseases, pests, weeds and immunity. Moscow: VNIKH, 1995. 108 p. (In Russ.)
19. Zoteeva N., Zimnokh-Guzovska E. A new method for evaluation of potato tubers resistance to phytophthora infestans. *Mycology and Phytopathology*. 2004; 38 (1): 89–93. (In Russ.)
20. Blatnik E., Horvat M., Berne S., Humar M., Dolničar P., Meglič V. Late blight resistance conferred by Rpi-smira2/r8 in potato genotypes in vitro depends on the genetic background. *Plants*. 2022; 11 (10): 1319. DOI: 10.3390/plants11101319.
21. Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Kuznetsova M., Spiglazova S., Rogozina E., Yashina I., Khavkin E. SCAR markers of the R-genes and germplasm of wild Solanum species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources*. 2011; 9 (2): 309–312. DOI: 10.1017/S1479262111000347.
22. Kim H. J., Lee H. R., Jo K. R. et al. Broad spectrum late blight resistance in potato differential set plants MaR8 and MaR9 is conferred by multiple stacked R genes. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012; 124: 923–935. DOI: 10.1007/s00122-011-1757-7.
23. Wang M., Allefs S., van den Berg R. G., Vleeshouwers V. G., van der Vossen E. A., Vosman B. Allele mining in Solanum: conserved homologues of Rpi-blb1 are identified in Solanum stoloniferum. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008; 116: 933–943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3.
24. Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L. M., Lee H. R., Vossen J. H., Jacobsen E., Visser R. G., Kamoun S., Vleeshouwers V. G. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012; 25 (7): 910–919. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1.
25. Zhu S., Li Y., Vossen J. H., Visser R. F., Jacobsen E. Functional stacking of three resistance genes against Phytophthora infestans in potato. *Transgenic Research*. 2012; 21: 89–99. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1.
26. Sagai-Marooof M. A., Soliman K. M., Jorgensen R. A., Allard R. W. Ribosomal DNA spacer-length polymorphism in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1984; 81: 8014–8018.
27. Sharma B. P., Gregory A. F., Hira K. M., Sundar M. S., Resham B. T. Determination of Resistance to Phytophthora infestans on Potato Plants in Field, Laboratory and Greenhouse Conditions. *Journal of Agricultural Science*. 2013; 5 (5): 148–157. DOI: 10.5539/jas.v5n5p148.
28. Budin K. Z. Genetic basis of potato breeding. Leningrad: Agropromizdat, 1986. Pp. 61–66. (In Russ.)
29. Fadina O. A., Beketova M. P., Sokolova E. A., Kuznetsova M. A., Smetanina T. I., Rogozina E. V., Khavkin E. E. Anticipatory breeding: molecular markers as a tool in developing donors of potato (Solanum tuberosum L.) Late blight resistance from complex interspecific hybrids. *Agricultural Biology*. 2017; 52 (1): 84–94. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.1.84rus. (In Russ.)
30. Fry W. E. Phytophthora infestans: New tools (and old ones) lead to new understanding and precision management. *Annual Review of Phytopathology*. 2016; 54: 529–547. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080615-095951.

31. Gastelo M., Perez W., Quispe K. et al. Phenotypic stability and correlation for late blight resistance in advanced potato clones under field and controlled conditions. *American Journal of Potato Research*. 2022; 99: 150–159. DOI: 10.1007/s12230-022-09861-8.

32. Mahfouze H. A., El-Sayed O. E., Mahfouze S. A. Characterization of resistance genes to late blight (*Phytophthora infestans*) in potato by marker-assisted selection. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 2023; 11 (2): 178–186. DOI: 10.7324/JABB.2023.110218.

Authors' information:

Alina K. Koroleva, postgraduate, junior researcher of the laboratory of genetics, Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia; ORCID 0000-0001-7647-848X, AuthorID 1037547.

E-mail: alkoroleva18@mail.ru

Marina K. Derevyagina, candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory of plant protection, Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia;

ORCID 0000-0002-4131-3965, AuthorID 310470. *E-mail: vzeyruk@mail.ru*

Viktoriya A. Biryukova, candidate of biological sciences, head of the laboratory of molecular methods for genome analysis, Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia;

ORCID 0000-0001-7521-6883, AuthorID 151131. *E-mail: vika_biryukova@inbox.ru*

Oksana B. Polivanova, candidate of biological sciences, researcher at the laboratory of cell and genomic technologies, Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia;

ORCID 0000-0002-3992-5452, AuthorID 920037. *E-mail: polivanovaoks@gmail.com*

Oleg G. Kazakov, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of genetics, Russian Potato Research Center, Moscow region, Kraskovo holiday village, Russia; ORCID 0000-0002-4131-3965, AuthorID 334383.

E-mail: kazakov-og@yandex.ru

Урожайность и качество семян коллекционных образцов льна масличного

А. Ю. Першаков¹✉, Р. И. Белкина¹, Е. А. Пороховинова²

¹ Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

✉ E-mail: pershakov.93@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить образцы льна масличного коллекции ВИР, выявить наиболее перспективные для условий Северного Зауралья. **Методы.** Полевые опыты, наблюдения и учеты проведены по методикам ВИР. Содержание жира в семенах сортов льна определено на приборе ЯМР-анализатор АМВ-1006М. **Результаты.** В результате изучения 31 образца коллекции льна масличного выделены наиболее продуктивные: к-5831 ВИР 1650 (265 г/м²), к-5579 Воронежский 1308/138 (261 г/м²), к-8409 Кинельский 2000 (248 г/м²), к-8799 Август (241 г/м²) из России; к-6056 Бахмальский 105 (243 г/м²) из Узбекистана; к-8606 Omega (241 г/м²) из Канады; образцы с высокой массой 1000 семян: к-8218 Micael (8,84 г) из Канады; к-8799 Август (8,70 г); к-8158 Сокол (8,64); к-5831 ВИР 1650 (8,61 г); к-5579 Воронежский 1308/138 (8,42 г) из России; образцы с высоким содержанием масла в семенах: к-8729 Ba Ya No. 12 (50,6 %) из Китая; к-8799 Август (49,2 %) из России; к-6056 Бахмальский 1056 (47,6 %) из Узбекистана; к-8610 McBeth (46,8 %) из Канады; к-7964 Ручеек (46,7 %), к-5579 Воронежский 1308/138 (46,7 %), к-8158 Сокол (46,6 %), к-6986 Сибирский-397 (46,6 %) из России. Перспективными для использования в селекционных программах при создании новых сортов льна масличного в регионе можно считать образцы, характеризующиеся высокими и повышенными показателями таких важных хозяйственных признаков, как урожайность, масса 1000 семян и содержание масла в семенах: Воронежский 1308/138, Август, ВИР 1650, Сибирский-397 из России, Oliver из Франции. **Научная новизна.** Впервые в условиях Тюменской области изучены образцы мировой коллекции льна масличного, выявлены наиболее перспективные по урожайности и качеству семян.

Ключевые слова: лен масличный, коллекционные образцы, урожайность, масса 1000 семян, содержание масла в семенах

Для цитирования: Першаков А. Ю., Белкина Р. И., Пороховинова Е. А. Урожайность и качество семян коллекционных образцов льна масличного // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 338–347. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347>.

Дата поступления статьи: 26.05.23, **дата рецензирования:** 27.11.2023, **дата принятия:** 21.01.2024.

Productivity and quality of seeds of collection samples of oil flax

A. Yu. Pershakov¹✉, R. I. Belkina¹, E. A. Porokhovinova²

¹ State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

² Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: pershakov.93@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to study samples of oilseed flax from the VIR collection, to identify the most promising for the conditions of the Northern Trans-Urals. **Methods.** Field experiments, observations and records were carried out according to VIR methods. The fat content in the seeds of flax varieties was determined using an AMB-1006M NMR analyzer. **Results.** As a result of studying 31 samples of the oilseed flax collection, the most productive ones were identified: k-5831 VIR 1650 (265 g/m²), k-5579 Voronezhskiy 1308/138 (261 g/m²), k-8409 Kinselskiy 2000 (248 g/m²), k-8799 August (241 g/m²) from Russia; k-6056 Bahmal'skiy 105 (243 g/m²) from Uzbekistan; k-8606 Omega (241 g/m²) from Canada; samples with high mass of 1000 seeds: k-8218 Micael (8.84 g) from Canada; k-8799 August (8.70 g); k-8158 Sokol (8.64); k-5831 VIR 1650 (8.61 g); k-5579 Voronezhskiy 1308/138 (8.42 g) from Russia; samples with high oil content in seeds: k-8729 Ba Ya No. 12 (50.6 %) from China; k-8799 August (49.2 %) from Russia; k-6056 Bahmal'skiy 1056 (47.6 %) from Uzbekistan; k-8610 McBeth (46.8 %) from Canada; k-7964 Rucheyek (46.7 %), k-5579 Voronezhskiy 1308/138 (46.7 %), k-8158 Sokol (46.6 %), k-6986 Sibirskiy-397 (46.6 %) from Russia. Promising for use in breeding programs for the creation of new oilseed flax varieties in the region can be considered samples characterized by high and increased indicators of such important economic traits as yield, mass of 1000 seeds and oil content in seeds: Voronezhskiy 1308/138, August, VIR 1650, Sibirskiy-397 from Russia, Oliver from France. **Scientific novelty.** For the first time in the conditions of the Tyumen region, samples of the world collection of oilseed flax were studied, the most promising by yield and seed quality were identified.

k-8409 Kinel'skiy 2000 (248 g/m²), k-8799 Avgust (241 g/m²) from Russia; k-6056 Bakhmal'skiy 105 (243 g/m²) from Uzbekistan; k-8606 Omega (241 g/m²) from Canada; samples with a high mass of 1000 seeds: k-8218 Micael (8.84 g) from Canada; k-8799 Avgust (8.70 g); k-8158 Sokol (8.64); k-5831 VIR 1650 (8.61 g); k-5579 Voronezhskiy 1308/138 (8.42 g) from Russia; samples with a high oil content in seeds: k-8729 Ba Ya No. 12 (50.6 %) from China; k-8799 Avgust (49.2 %) from Russia; k-6056 Bakhmal'skiy 1056 (47.6 %) from Uzbekistan; k-8610 McBeth (46.8 %) from Canada; k-7964 Ruchek (46.7 %), k-5579 Voronezhskiy 1308/138 (46.7 %), k-8158 Sokol (46.6 %), k-6986 Sibirskiy-397 (46.6 %) from Russia. Promising for use in breeding programs when creating new varieties of oilseed flax in the region can be considered samples characterized by high and elevated indicators of such important economic characteristics as yield, weight of 1000 seeds and oil content in seeds: Voronezhskiy 1308/138, Avgust, VIR 1650, Sibirskiy-397 from Russia, Oliver from France.

Keywords: oilseed flax, collectible samples, yield, weight of 1000 seeds, oil content in seeds

For citation: Pershakov A. Yu., Belkina R. I., Porokhovinova E. A. Productivity and quality of seeds of collection samples of oil flax. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 24 (03): 338–347. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347>. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.05.23, **date of review:** 27.11.2023, **date of acceptance:** 21.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Лен масличный находит все большее распространение в регионах России. Это обосновано расширением направлений использования маслосемян в различных отраслях производства [1].

Ценность семян льна в большой степени обусловлена наличием полиненасыщенных жирных кислот, минеральных веществ, пищевых волокон и других полезных для организма человека компонентов. Использование продуктов переработки семян льна положительно влияет на регуляцию обменных процессов в организме человека, улучшает деятельность желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой и иммунной систем [2].

Льняное масло из-за высокого содержания линолевой и α -линоленовой полиненасыщенных кислот относится к лучшим лечебным маслам [3]. Вместе с тем оно может окисляться с образованием токсичных веществ – перекисных соединений липидов. Высокое содержание линоленовой кислоты в масле свидетельствует о том, что оно пригодно в основном на технические цели. В пищевом масле должно быть снижено содержание линоленовой кислоты до 10 % [4]. По данным ФАО, при содержании линоленовой кислоты в льняном масле более 50 % масло предназначено в основном к использованию на технические цели; при содержании линоленовой кислоты уровне 36–49 % масло можно использовать не только на технические цели, но и в медицине и парфюмерии; при низком содержании линоленовой кислоты (от 10 до 35 %) получается в основном пищевое масло; при очень низком содержании (менее 10 %) масло используется только на пищевые цели [3].

По сведениям И. Н. Порсева с соавторами [4], особенно ценными считаются семена льна желтоокрашенных сортов ЛМ-98 и Итиль – это источники слабопигментированного растительного масла и питательного кормового концентрата. Низкое со-

держание линоленовой кислоты в масле семян этих сортов обеспечивает устойчивость его к окислению и дает основание для применения в пищевых целях, так же как и широко используемых растительных масел. Например, количество линоленовой кислоты в масле у сортов ЛМ 98 и Итиль составляет 4 %, а линолевой достигает 68,9 %. Такое соотношение кислот близко к оптимальному (1 : 10).

Семена льна масличного отличаются высокой биологической ценностью белка. Исследованиями А. П. Колотова и А. В. Лысова [5] показана полноценность белка семян сортов льна, выращенных в Свердловской области, по содержанию незаменимых аминокислот. Авторы считают, что высокое содержание лизина (7,5–8,5 г в 100 г белка) и других незаменимых аминокислот обосновывает возможность использования семян льна масличного и льняного жмыха для балансирования рационов сельскохозяйственных животных по аминокислотному составу.

Степень проявления тех или иных полезных признаков во многом зависит от особенностей возделываемых сортов, их реакции на благоприятные и экстремальные условия возделывания. Исследованиями А. С. Бушневой с соавторами [6] выявлены сорта льна масличного, проявившие наибольшую адаптацию к условиям недостаточного увлажнения. Показано также, что такие сорта, как Светлячок и Ручеек, имели наименьшую вариабельность по урожайности. Сорта Радуга и Авангард отличались высокой урожайностью и экономической эффективностью: чистый доход с 1 га составил соответственно 21 650 и 21 078 руб. [7; 8].

В результате сравнительного изучения отечественных и зарубежных сортов льна масличного выявлено, что наиболее высокой продуктивностью отличались сорта ЛМ-92 из России, Clark из Голландии и Linda из Франции [9].

Изучено содержание масла в образцах высоко-масличной коллекции ВНИИМК, установлено различие образцов по этому признаку. Варьирование величины признака по годам составляло 4,1–4,5 %. Показана возможность проведения отбора образцов льна с высокой масличностью семян [10].

В восточных регионах страны в настоящее время также увеличиваются площади производственных посевов льна масличного, проводятся научно-исследовательские работы в направлении создания новых сортов и разработки эффективных элементов технологии их возделывания.

В условиях Пермского края выявлены оптимальные сроки посева и наиболее приемлемые сроки уборки для возделываемых в регионе сортов [11; 12].

В условиях Среднего Урала изучено влияние агрометеорологических условий года на урожайность и другие хозяйственно ценные признаки сортов льна масличного [13]. Показаны данные, полученные в засушливом 2012 г. (ГТК = 0,96), нормальном по увлажнению 2011 г. (ГТК = 1,28) и влажном 2014 г. (ГТК = 2,10). Как свидетельствуют результаты, продолжительность вегетационного периода льна сорта Северный была наибольшей (108 дней) в условиях повышенного увлажнения и самой короткой (87 дней) в засушливом 2012 г. В условиях нормального увлажнения этот показатель составил 94 дня. Такой элемент структуры урожая, как количество растений к уборке, наибольшей величины достиг в 2012 г. (715 шт/м²), а число коробочек на растении максимальным было в год с нормальным увлажнением (15,4 шт.) и значительно снижено в засушливых условиях (7,5 шт.). Большие различия наблюдались в эти годы и по числу семян в коробочке: преимущество показателя в год с нормальным увлажнением в сравнении с засушливым составило 2,9 шт. Самая низкая масса 1000 семян сформировалась у сорта Северный в засушливом 2012 г. (6,54 г), самая высокая – в год с нормальным увлажнением (9,44 г), при повышенном увлажнении в 2014 г. показатель занимал промежуточное положение (7,59 г). Наибольшая урожайность семян (2,88 т/га) получена в 2011 г., благоприятном по увлажнению, значительно снижена (на 1,27 т/га) в засушливом 2012 г., а во влажном 2014 г. урожайность составила 2,12 т/га. Масличность семян изменялась под влиянием агрометеорологических условий не так значительно, как другие показатели. Практически на одном уровне содержание масла в семенах сорта Северный находилось в условиях засушливого года (44,9 %) и нормального по увлажнению (45,0 %), несколько ниже показатель зафиксирован в год с избыточным увлажнением (43,9 %).

Исследованиями, проведенными в Свердловской области, также установлено, что наибольшей урожайностью отличался сорт Уральский, который наряду с сортом Северный рекомендован для воз-

делывания в сельскохозяйственных предприятиях региона. Повышенная урожайность семян достигалась за счет таких элементов продуктивности, как количество коробочек на растении, число семян в одной коробочке, масса 1000 семян [14]. По проблеме льноутомления почвы проведены также исследования, показана возможность выращивания льна масличного в течение нескольких лет без снижения урожайности на полях, где эта культура ранее не выращивалась [15].

Исследован биохимический состав семян сортов льна масличного, выращенных в условиях Свердловской области [16]. Выявлены различия у сортов льна по содержанию отдельных химических веществ. Например, в условиях 2011 г. высоким содержанием масла в семенах (48,4 %) отличался сорт Коралл, а семена сорта Воронежский 1308 и сорта льна-долгунца Псковский 359 характеризовались повышенным содержанием сырого протеина. Высокое содержание сырой клетчатки зафиксировано в семенах сорта Легур. В условиях 2012 г. по количеству жира в семенах выделился сорт Северный (44,9 %), содержание сырого протеина у сортов варьировало от 24,4 до 29,2 %, сырой клетчатки – от 9,61 до 12,0 %, незначительные различия отмечены у сортов по содержанию в семенах золы – от 2,73 до 3,82 %, кальция – от 0,18 до 0,23 %, фосфора – от 0,38 до 0,58 %.

В Курганской области проводилось изучение сортов и элементов технологии возделывания льна-долгунца и льна масличного. Исследована степень поражения растений льна фузариозом, были выявлены значительные различия в развитии фузариоза по сортам льна. Отмечено, что высокую устойчивость к фузариозу проявил сорт льна масличного ЛМ-98. Расчеты показали, что на распространенность заболевания в большей степени влияли метеорологические условия, складывающиеся в период вегетации (74,2 %), влияние генотипа составило 20,4 % [17].

По данным Н. А. Купцевича [18], в условиях Южного Зауралья урожайность семян льна зависит от сорта на 37,8 %, а урожайность льносомки – в значительной степени (на 93,7 %) от уровня влагообеспеченности растений в течение вегетации. Автор отмечает, что продуктивность сортов льна масличного была в два раза выше в сравнении с сортами льна-долгунца. Наибольшей урожайностью отличались сорта льна масличного Северный, ЛМ-98 и Итиль. Сорт Северный выделился по масличности семян (46,1 %) и сбору масла (1144 кг/га), урожайность семян у этого сорта составила 2,48 т/га. Высокими показателями по сбору масла характеризовались также сорта льна масличного новых сортов ЛМ 98 (895,4 кг/га) и Итиль (823,4 кг/га). Автором выявлено преимущество раннего срока посева льна в годы с умеренным увлажнением: урожайность

семян при посеве во второй декаде мая была значительно выше в сравнении с посевом в конце мая. В засушливый год преимущество по урожайности семян проявилось при позднем посеве, что в большой степени было связано со снижением степени развития фузариоза.

В условиях Курганской области установлено положительное влияние минеральных удобрений на урожайность семян льна масличного. В вариантах с применением комплексного удобрения азофоски у сортов Северный, ЛМ 98 и Итиль урожайность семян увеличивалась на 175 %, 161 % и 120 % соответственно [4].

Учитывая сложность уборки льна масличного, следует считать актуальными исследования в этом направлении. В условиях Среднего Предуралья изучены приемы однофазной уборки данной культуры [11]. Варианты опыта предусматривали проведение предуборочной десикации при побурении коробочек на растениях льна в количестве 50 %, 75 % и 100 %, вариант уборки без десикации при побурении 100 % коробочек, а также более поздние сроки десикации. Отмечено, что продолжительность вегетационного периода у льна в опыте изменялась от 99 до 139 суток. У сорта Северный наиболее высокая урожайность семян зафиксирована в вариантах с предварительной десикацией при побурении коробочек в количестве 50 % и 75 %. Увеличение урожайности в этих вариантах обусловлено повышенными показателями числа коробочек на растении и массы семян с растения. Не было эффекта у сорта Северный в вариантах с десикацией при побурении 100 % коробочек и через 3–9 дней после этого. У сорта Уральский по урожайности выделялись варианты с уборкой при десикации в фазах 75–100 % побуревших коробочек и в варианте с уборкой без десикации при 100 % побуревших коробочек. Повышенная урожайность в этих вариантах была связана также с увеличением таких показателей элементов структуры, как число коробочек и масса семян с растения. Отмечено, что потери при уборке были невысокие (0,4–3,1 %) и их величина не зависела от сортовых особенностей. Выявлено существенное снижение потерь при более поздних сроках уборки с применением десикации.

Селекция сортов льна масличного в восточных регионах страны сосредоточена на Сибирской опытной станции – филиале ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. В 1978 г. создан селекционерами опытной станции первый сорт льна Исылкульский, затем был создан сорт Легур, отличающийся высокой продуктивностью и устойчивостью к фузариозу [19]. Позднее в Государственный реестр селекционных достижений, включены скороспелый сорт Северный и среднеспелый сорт Сокол. Оба сорта характеризуются высокой продуктивностью и устойчивостью к фузариозу. Среди новых сортов – высокомасличный

сорт Август и сорт Амбер, предназначенный на пищевые цели (содержание линоленовой кислоты в масле – 5,5 %). Новый сорт льна масличного Саня хорошо адаптирован к почвенно-климатическим условиям Сибири, характеризуется высокой масличностью семян – на уровне 52,5–52,9 %, устойчив к осыпанию и полеганию, высокоустойчив к фузариозному увяданию, семена этого сорта предназначены для получения технического масла высокого качества.

Дальнейшее повышение продуктивности культуры во многом зависит от урожайности новых сортов, качества их семян, устойчивости сортов к неблагоприятным факторам среды. По мнению А. К. Сулейменовой, для создания таких сортов большое значение имеет использование в качестве исходного материала образцов мировой коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения [20; 21]. На основе этого с применением современных методов селекции создается возможность получить разнообразный селекционный материал и обеспечить отбор форм, сочетающих комплекс хозяйственно ценных признаков. При изучении образцов льна масличного коллекции ВИР в условиях Омской области автором выделены образцы, превосходящие стандарт (сорт Северный) по урожайности, а также образцы более скороспелые, чем стандарт, выделены и образцы с высокой устойчивостью к фузариозу. В результате расчета взаимосвязей между хозяйственно ценными признаками показано, что самый высокий коэффициент корреляции (0,968) между такими признаками, как масса семян с растения и количество семян с растения. Высокое значение коэффициента корреляции отмечено между количеством семян с растения и числом коробочек на одном растении (0,965). Высокая степень взаимосвязи между урожайностью семян и сбором масла ($r = 0,718$), средняя – между масличностью семян и сбором масла ($r = 0,659$). Автором сделано заключение о том, что образцы мировой коллекции ВИР особенно ценны как доноры устойчивости к различным болезням, источники высокого качества масла и ряда других признаков.

По результатам экологического испытания сортов льна масличного в условиях Омской области А. К. Сулейменовой [22] выделены наиболее продуктивные сорта Амбер и Северный. Высокой масличностью семян характеризовался сорт Август – более 50 %, сорт Северный формировал наиболее высокую массу 1000 семян (8,4 г).

В условиях Северного Зауралья в последние годы (с 2018 г.) проводятся исследования по вопросам повышения продуктивности льна масличного на основе выявления потенциала урожайности сортов и разработки эффективных элементов технологии их возделывания [23–25]. Изучена от-

звичивость сортов льна масличного Август, Легур, Исилюльский, Сокол на возрастающие нормы минеральных удобрений [24]. Полевые опыты проведены в зоне северной лесостепи Тюменской области в 2018–2020 гг. Почва опытного поля – чернозем выщелоченный, предшественник – однолетние травы. Варианты опыта включали контроль без удобрений, средний фон (расчетная норма NPK на урожайность семян 2 т/га) и повышенный фон (расчетная норма NPK на урожайность семян 3 т/га). Положительное влияние на урожайность семян сорта Август оказал повышенный фон удобрений: в 2018 г. прибавка составила 0,38 т/га, в 2019 г. – 0,40 т/га. В среднем за годы исследований повышенный фон обеспечил увеличение урожайности у сорта Август на 0,32 т/га относительно контроля. Сорт Легур проявил отзывчивость на оба фона удобрений: на среднем фоне получена урожайность 1,93 т/га, на повышенном – 2,01 т/га. Сорт Исилюльский обеспечил высокую урожайность семян повышенный фон удобрений: в среднем за годы исследований – 2,15 т/га, это на 0,50 т/га выше, чем в варианте без удобрений. Повышенный фон удобрений способствовал формированию наибольшей урожайности семян у сорта Сокол (1,99 т/га), увеличение относительно контроля составило 0,71 т/га.

Цель наших исследований – изучить образцы льна масличного коллекции ВИР, выявить наиболее перспективные для условий Северного Зауралья.

Методология и методы исследования (Methods)

В условиях северной лесостепи Тюменской области из мировой коллекции ВИР изучен 31 образец льна масличного. Образцы подобраны с учетом природно-климатических условий Западно-Сибирского региона.

Исследования проведены в 2019 г. и 2020 г. на опытном поле Государственного аграрного университета Северного Зауралья в условиях северной лесостепи Тюменской области. Северная лесостепная зона занимает ведущее положение по посевным площадям сельскохозяйственных культур. Зона характеризуется как теплая, умеренно увлажненная. Сумма активных температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10 °C составляет 1894–1999 °C [26]. Продолжительность периода со средней температурой воздуха выше 10 °C – от 124 до 126 суток. Безморозный период в среднем равен 98–121 суткам.

Годовая сумма осадков в зоне северной лесостепи составляет 383–470 мм, из них большая часть выпадает в теплый период. Около трети осадков теплого периода выпадает в апреле – первой половине июня, но в этот период в отдельные годы выпадает всего 50 % нормы осадков. Большое количество осадков часто выпадает в июле – сентябре, что сильно усложняет уборку урожая. В метровом слое почвы в большинстве лет запасов влаги бывает достаточно в течение всего периода вегетации,

однако в отдельные годы в пахотном слое фиксируется дефицит влаги в период закладки элементов продуктивности растений. Отмечается, что примерно один год из трех бывает засушливым: полевые культуры страдают от воздушной засухи и частично – от почвенной.

В зоне северной лесостепи преобладают серые лесные почвы и чернозем выщелоченный и оподзоленный, встречаются и другие типы почв. Серых почв больше в западной части зоны, черноземы преобладают в центральной и восточной частях. Выщелоченный и оподзоленный чернозем – ценные почвы для возделывания полевых культур. Они содержат 5–8 % гумуса, характеризуются мощным гумусовым горизонтом.

Почва опытного участка, где проводились полевые опыты, – чернозем выщелоченный. Предшественник в опытах – однолетние травы. Закладка полевых опытов, наблюдения и учеты выполнены по методикам ВИР. Сеяли образцы коллекции сеялкой ССФК-10, убирали вручную. Обмолачивали снопы на лабораторной молотилке МК-1м. Содержание жира в семенах сортов льна определено на приборе ЯМР-анализатор АМВ-1006М.

В статье дана характеристика образцам коллекции льна по урожайности, элементам ее структуры и содержанию масла в семенах.

Результаты (Results)

Особенность метеорологических условий вегетационного периода 2019 г. была в том, что среднесуточная температура воздуха мая, июля и августа была выше среднееголетнего уровня, а количество осадков за май – август превысило многолетнюю норму на 50 мм. В 2020 г. температура воздуха значительно превышала многолетний уровень (в мае на 4,3 °C, в июле и августе – на 3 и 3,4 соответственно). Однако количество осадков за период с мая по август было ниже нормы на 63 мм. Таким образом, образцы коллекции льна масличного изучены в различные по метеорологическим условиям годы, что обеспечило возможность достаточно полного проявления их признаков и свойств.

В таблице 1 изучаемые образцы коллекции распределены на группы по урожайности. Первая группа включает наиболее урожайные образцы (230–265 г/м²), вторая группа – образцы с урожайностью выше средней (216–229 г/м²), третья группа – образцы со средней урожайностью (200–215 г/м²), четвертая группа – образцы с урожайностью ниже средней (161–198 г/м²). Из образцов первой группы следует отметить самые высокопродуктивные: к-5831 ВИР 1650 (265 г/м²), к-5579 Воронежский 1308/138 (261 г/м²), к-8409 Кинельский 2000 (248 г/м²), к-8799 Август (241 г/м²) из России; к-6056 Бахмальский 105 (243 г/м²) из Узбекистана; к-8606 Omega (241 г/м²) из Канады (таблица 1).

Таблица 1

Распределение образцов льна масличного по урожайности, г/м² (2019–2020 гг.)

Градации по урожайности, г/м ²	Наименование образцов
230–265	к-5579 Воронежский 1308/138; к-5831 ВИР 1650; к-6056 Бахмальский 1056; к-8218 Micael; к-8409 Кинельский 2000; к-8606 Omega; к-8710 Чибик (Чибис), к-8799 Август
216–229	к-6986 Сибирский -397; к-7481 Исилькульский; к-7964 Ручеек; к-8220 Oliver; к-8677 Исток; к-8711 Эврика; к-8815 Baya No. 7
200–215	к-7822 Циан; к-8053 Галляарал-3; к-8158 Сокол; к-8604 Kaolin; к-8609 Prairie Blue; к-8729 Ba Ya No. 12; к-8818 Baxuan No. 3; к-8863 Bethune; к-8871 LM 98
161–198	к-6190 Карабалакский 3; к-8156 Северный; к-8157 Легур; к-8576 LM-92; к-8610 McBeth; к-8611 McDuff; к-8716 Гиссарский-10

Table 1

Distribution of oilseed flax samples by yield, g/m² (2019–2020)

Gradations in yield, g/m ²	Name of the samples
230–265	k-5579 Voronezhskiy 1308/138; k-5831 VIR 1650; k-6056 Bakhmal'skiy 1056; k-8218 Micael; k-8409 Kinel'skiy 2000; k-8606 Omega; k-8710 Chibik (Chibis), k-8799 Avgust
216–229	k-6986 Sibirskiy-397; k-7481 Isil'kul'skiy; k-7964 Rucheech; k-8220 Oliver; k-8677 Istok; k-8711 Evrika; k-8815 Baya No. 7
200–215	k-7822 Tsian; k-8053 Gallyaaryl-3; k-8158 Sokol; k-8604 Kaolin; k-8609 Prairie Blue; k-8729 Ba Ya No. 12; k-8818 Baxuan No. 3; k-8863 Bethune; k-8871 LM 98
161–198	k-6190 Karabalakskiy 3; k-8156 Severnyy; k-8157 Legur; k-8576 LM-92; k-8610 McBeth; k-8611 McDuff; k-8716 Gissarskiy-10

Таблица 2

Распределение образцов льна масличного по массе 1000 семян, г (2019–2020 гг.)

Градации по массе 1000 зерен, г	Наименование образцов
7,50–8,84	к-5579 Воронежский 1308/138; к-5831 ВИР 1650; к-7481 Исилькульский; к-8158 Сокол; к-8218 Micael; к-8220 Oliver; к-8409 Кинельский 2000; к-8606 Omega; к-8609 Prairie Blue; к-8716 Гиссарский-10; к-8799 Август; к-8815 Baya No. 7
6,50–7,49	к-6056 Бахмальский 1056; к-6986 Сибирский-397; к-7822 Циан; к-8156 Северный; к-8576 LM-92; к-8610 McBeth; к-8611 McDuff; к-8677 Исток; к-8710 Чибик (Чибис); к-8711 Эврика; к-8818 Baxuan No. 3; к-8863 Bethune
5,50–6,49	к-6190 Карабалакский-3; к-7964 Ручеек; к-8604 Kaolin; к-8729 Ba Ya No. 12

Table 2

Distribution of oilseed flax samples by weight of 1000 seeds, g (2019–2020)

Gradations by weight of 1000 grains, g	Name of the samples
7.50–8.84	k-5579 Voronezhskiy 1308/138; k-5831 VIR 1650; k-7481 Isil'kul'skiy; k-8158 Sokol; k-8218 Micael; k-8220 Oliver; k-8409 Kinel'skiy 2000; k-8606 Omega; k-8609 Prairie Blue; k-8716 Gissarskiy-10; k-8799 Avgust; k-8815 Baya No. 7
6.50–7.49	k-6056 Bakhmal'skiy 1056; k-6986 Sibirskiy-397; k-7822 Tsian; k-8156 Severnyy; k-8576 LM-92; k-8610 McBeth; k-8611 McDuff; k-8677 Istok; k-8710 Chibik (Chibis); k-8711 Evrika; k-8818 Baxuan No. 3; k-8863 Bethune
5.50–6.49	k-6190 Karabalakskiy-3; k-7964 Rucheech; k-8604 Kaolin; k-8729 Ba Ya No. 12

Параметры структуры урожая сортов льна масличного зависят от ряда факторов, в том числе от метеорологических условий и элементов технологии [28].

Один из показателей структуры урожая – количество коробочек на растении – у изучаемых образцов льна варьировал от 8 до 12 шт., составляя в среднем по образцам 10 шт. Больше половины изучаемых образцов имели показатели на уровне 10–11 шт., что находится в пределах оптимальных

параметров растений льна масличного, рекомендованных А. П. Колотовым для условий Среднего Урала [29]. Среди изучаемых образцов выделились по этому показателю (12 коробочек на растении) следующие: Ручеек и Исток из России, Галляарал-3 из Узбекистана, Kaolin из Франции, Чибик (Чибис) из Украины. У некоторых образцов показатели снижены (8 коробочек на растении): Легур и Сокол из России, Prairie Blue и McBeth из Канады.

Таблица 3

Распределение образцов льна по содержанию масла в семенах, % (2019–2020 гг.)

Градация по содержанию масла в семенах, %	Наименование образцов
47–50	к-5579 Воронежский 1308/138; к- 6056 Бахмальский 1056; к-6986 Сибирский-397; к-7964 Ручеек; к-8158 Сокол; к-8610 McBeth; к-8729 Ba Ya No. 12; к-8799 Август
44–46	к-5831 ВИР 1650; к-8156 Северный; к-8818 Baxuan No. 3; к-8863 Bethune; к-8871 ЛМ 98; к-8220 Oliver; к-8576 ЛМ-92; 8604 Kaolin; к-8606 Omega; к-8609 Prairie Blue; к-8611 McDuff; к-8710 Чибик (Чибис)
42–43	к-6190 Карабалакский 3; к-7481 Исилькульский; к-7822 Циан; к-8053 Галляарал-3; к-8157 Легур; к-8409 Кинельский 2000; к-8677 Исток; к-8711 Эврика; к-8716 Гиссарский-10

Table 3

Distribution of flax samples by oil content in seeds, % (2019–2020)

Gradations in the oil content in seeds, %	Name of the samples
47–50	k-5579 Voronezhskiy 1308/138; k-6056 Bakhmal'skiy 1056; k-6986 Sibirskiy-397; k-7964 Ruchee; k-8158 Sokol; k-8610 McBeth; k-8729 Ba Ya No. 12; k-8799 Avgust
44–46	k-5831 VIR 1650; k-8156 Severnyy; k-8818 Baxuan No. 3; k-8863 Bethune; k-8871 LM 98; k-8220 Oliver; k-8576 LM-92; 8604 Kaolin; k-8606 Omega; k-8609 Prairie Blue; k-8611 McDuff; k-8710 Chibik (Chibis)
42–43	k-6190 Karabalakskiy 3; k-7481 Isil'kul'skiy; k-7822 Tsian; k-8053 Gallyaaral-3; k-8157 Legur; k-8409 Kinel'skiy 2000; k-8677 Istok; k-8711 Evrika; k-8716 Gissarskiy-10

Не менее важный элемент структуры урожая – масса зерна с растения. Его величина связана с количеством семян с растения и массой 1000 семян. Этот показатель у образцов коллекции льна находился в пределах 0,58–0,80 г, составляя в среднем по образцам 0,66 г. Наиболее высокой массой зерна с растения характеризовались образцы Исилькульский (0,80 г), Август (0,72 г), Ручеек (0,72 г), Исток (0,72 г) из России, Чибик (Чибис) (0,76 г) из Украины, McBeth (0,74 г) из Канады, Гиссарский-10 (0,72 г) из Таджикистана. Значительно снижена масса семян с растения (0,58–0,61 г) у следующих образцов: Baxuan No. 3 из Китая, Bethune и Omega из Канады, ЛМ 98 из России, Kaolin из Франции. Масса зерна с растения остальных образцов льна варьировала в пределах 62–70 г.

По массе 1000 семян образцы коллекции распределены на три группы: образцы с высокими показателями (7,50–8,84 г), средними (6,50–7,49 г) и показателями ниже средних величин (5,50–6,49 г). Наиболее высокой массой 1000 семян отличались следующие образцы: к-8218 Micael (8,84 г) из Канады; к-8799 Август (8,70 г); к-8158 Сокол (8,64); к-5831 ВИР 1650 (8,61 г); к-5579 Воронежский 1308/138 (8,42 г) из России (таблица 2).

Анализируя полученные данные, необходимо отметить образцы, характеризующиеся высокой урожайностью и высокой массой 1000 семян: Воронежский 1308/138, ВИР 1650, Кинельский 2000, Август из России, Omega и Micael из Канады. Эти образцы имеют перспективу использования в качестве исходного материала при создании новых сортов льна масличного в Западно-Сибирском регионе.

В таблице 3 образцы льна распределены на группы по содержанию масла в семенах: высокое содержание масла (47–50 %), среднее (44–46 %) и ниже средней величины (42–43 %).

Наиболее высоким содержанием масла в семенах отличались следующие образцы: к-8729 Ba Ya No. 12 (50,6 %) из Китая; к-8799 Август (49,2 %) из России; к-6056 Бахмальский 1056 (47,6 %) из Узбекистана; к-8610 McBeth (46,8 %) из Канады; к-7964 Ручеек (46,7 %), к-5579 Воронежский 1308/138 (46,7 %), к-8158 Сокол (46,6 %), к-6986 Сибирский-397 (46,6 %) из России. Как показывают результаты, группа образцов с высокой масличностью семян представлена в основном отечественными образцами.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На основании представленных результатов можно выделить наиболее перспективные образцы льна масличного для использования в Западно-Сибирском регионе:

– Воронежский 1308/138 (Россия) характеризуется высокой урожайностью (261 г/м²), высокой массой 1000 семян (8,42 г) и высоким содержанием масла в семенах (46,7 %);

– Август (Россия) входит в группу сортов с высокой урожайностью (241 г/м²), имеет высокую массу 1000 семян (8,70 г) и высокую масличность семян (49,2 %);

– ВИР 1650 (Россия) отличается высокой урожайностью (265 г/м²), высокой массой 1000 семян (8,61 г) и средним содержанием масла в семенах (44,4 %);

– Сибирский-397 (Россия) по урожайности на уровне выше среднего (221 г/м²), имеет среднюю величину массы 1000 семян (6,61 г) и высокое содержание масла в семенах (46,6 %);

– Oliver (Франция) характеризуется уровнем урожайности выше среднего (229 г/м²), высокой массой 1000 семян (7,70 г), содержание масла в семенах на среднем уровне (44,5 %).

Выделившиеся по важным хозяйственно ценным признакам – урожайности, массе 1000 семян

и содержанию масла в семенах – образцы могут иметь перспективу использования их в качестве исходного материала при создании новых сортов льна масличного в Западно-Сибирском регионе.

Библиографический список

1. Suleimenova A. K. Selection of oil flax in Siberian Experimental Station // International Agricultural Journal. 2018. Vol. 61, No. 2. Pp. 80–86. DOI: 10.24411/2588-0209-2018-10020.
2. Наумова Н. Л., Бец Ю. А. Химический состав и пищевая ценность семян льна и продуктов его переработки // Modern Science. 2020. № 11. С. 27–33.
3. Сулейменова А. К., Лошкомойников И. А. Сорт льна масличного Амбер // Масличные культуры. 2020. № 4 (184). С. 103–105. DOI 10.25230/2412-608X-2020-4-184-103-105.
4. Порсев И. Н., Купцевич Н. А., Половникова В. В., Крашаков В. В. Роль минеральных удобрений в повышении урожайности льна масличного в Центральной зоне Курганской области // Актуальные проблемы рационального использования земельных ресурсов: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Лесниково, 2017. С. 37–41.
5. Egorov E., Ropo A., Elichev V. Adjunctive use of tafluprost with timolol provides additive effects for reduction of intraocular pressure in patients with glaucoma // European Journal of Ophthalmology. 2009. Vol. 19, No. 2. Pp. 214–222. DOI: 10.1177/112067210901900207.
6. Колотов А. П., Лысов А. В. Аминокислотный состав семян и жмыхов масличных культур в Свердловской области // АПК России. 2022. Т. 29, № 3. С. 321–325. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-3-321-325.
7. Бушнев А. С., Лучкина Т. Н., Орехов Г. И. Реализация генетического потенциала семенной продуктивности новых сортов масличного льна с учетом современных ресурсосберегающих технологий Южного федерального округа // Масличные культуры. 2020. Вып. 3 (183). С. 84–91.
8. Лучкина Т. Н., Горбаченко О. Ф., Збраилова Л. П., Бушнев А. С., Рябенко Л. Г., Овчарова Л. Р. Экологическое испытание сортов льна масличного в условиях Ростовской области // Масличные культуры. 2020. Вып. 4 (184). С. 24–31.
9. Лучкина Т. Н., Картамышева Е. В., Бушнев А. С., Збраилова Л. П., Лобунская И. А. Применение цифровых технологий в оценке адаптивности сортов льна масличного // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (30). С. 198–207.
10. Гореев В. Н., Корепанова Е. В., Фатыхов И. Ш., Исламова Ч. М. Урожайность маслосемян отечественных и зарубежных сортов льна масличного // Современные достижения селекции растений – производству: материалы Национальной научно-практической конференции. Ижевск, 2021. С. 80–85.
11. Скляр Л. Г., Рябенко В. С., Зеленцов Л. Р., Овчарова С. В. Высокомасличная коллекция льна ФГБНУ ФНЦВНИИМК // Масличные культуры. 2021. № 2 (186). С. 46–49. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-2-186-46-49.
12. Елисеев С. Л., Рентв Е. А., Бояршинова Е. В. Приемы однофазной уборки сортов льна масличного в Среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2021. № 1 (33). С. 26–35.
13. Елисеев С. Л., Ренев Е. А., Бинияз М. Ф. Влияние срока посева на урожайность льна масличного в Среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2022. № 2 (38). С. 65–69.
14. Колотов А. П., Синякова О. В. Влияние агрометеорологических условий вегетационного периода на формирование урожайности семян льна масличного // Аграрный вестник Урала. 2015. № 6 (136). С. 6–9.
15. Колотов А. П. Урожайность льна масличного на серых лесных почвах Среднего Урала // Вестник КрасГАУ. 2021. № 5. С. 3–11.
16. Колотов А. П., Бородулина Ф. А. Реакция льна масличного на минеральные удобрения при бессменном посеве // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-35-42.
17. Колотов А. П., Синякова О. В., Кипрушкина Н. А. Результаты интродукции культуры льна масличного на среднем Урале // АПК России. 2016. Т. 23, № 2. С. 282–287.
18. Порсев И. Н., Торопова Е. Ю., Купцевич Н. А., Саломатина К. С. Урожайность льна-долгунца и льна масличного в зависимости от сортового состава в условиях центральной зоны Курганской области // Вестник Курганской ГСХА. 2016. № 1 (17). С. 34–37.
19. Купцевич Н. А. Оптимизация элементов технологии возделывания льна в условиях южного Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 3 (27). С. 38–43.
20. Сулейменова А. К., Лошкомойников И. А. Сорт масличного льна Саня // Масличные культуры. 2022. № 1 (189). С. 88–91. DOI: 10.25230/2412-608X-2022-1-189-88-91.
21. Сулейменова А. К. Использование мировой коллекции ВИР в селекции льна масличного // Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С. И. Леонтьева. Омск, 2019. С. 270–275.

22. Сулейменова А. Роль исходного материала в создании новых сортов льна масличного // *International Agricultural Journal*. 2019. Т. 62, № 3. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10069.
23. Сулейменова А. К. Возделывание льна масличного в Сибири // *International Agricultural Journal*. 2019. Т. 62, № 4. С. 17. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10092.
24. Першаков А. Ю., Белкина Р. И. Продуктивность коллекционных образцов льна масличного в северной лесостепи Тюменской области // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 12 (165). С. 40–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-40-45.
25. Першаков А. Ю., Белкина Р. И., Сулейменова А. К. Отзывчивость сортов льна масличного на возрастающие нормы минеральных удобрений // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 6 (171). С. 11–17. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-11-17.
26. Pershakov A., Belkina R., Suleimenova A., Loskomoynikov I. Productivity of oil flax varieties in the conditions of northern forest steppe of Tyumen region // *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. Vol. 273. Article number 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301028.*
27. Иваненко А. С., Кулясова О. А. Агроклиматические условия Тюменской области. Тюмень: ТГСХА, 2008. 206 с.
28. Мамырко Ю. В., Бушнев А. С. Изменение элементов структуры урожая льна масличного в зависимости от погодных условий, применения удобрений и нормы высева семян // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 1 (67). С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-11-16.
29. Колотов А. П. Высокопродуктивные посевы льна масличного на Среднем Урале // *Масличные культуры*. 2019. Вып. 1 (177). С. 60–66.

Об авторах:

Анатолий Юрьевич Першаков, кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-5277-7880, AuthorID 934615. E-mail: pershakov.93@mail.ru

Раиса Ивановна Белкина, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-7000-5649, AuthorID 272212. E-mail: raisa-medvedko@mail.ru

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-8328-9684, AuthorID 413565. E-mail: e.porohovinova@mail.ru

References

1. Suleimenova A. K. Selection of oil flax in Siberian Experimental Station. *International Agricultural Journal*. 2018; 61 (2): 80–86. DOI: 10.24411/2588-0209-2018-10020.
2. Naumova N. L., Bets Yu. A. Chemical composition and nutritional value of flax seeds and products of its processing. *Modern Science*. 2020; 11: 27–33. (In Russ.)
3. Suleymenova A. K., Loshkomoynikov I. A. The oil flax variety Amber. *Maslichnye kul'tury*. 2020; 4 (184): 103–105. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-4-184-103-105. (In Russ.)
4. Porsev I. N., Kuptsevich N. A., Polovnikova V. V. et al. The role of mineral fertilizers in increasing the yield of oil flax in the Central zone of the Kurgan region. *Current problems of rational use of land resources: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Lesnikovo, 2017. Pp. 37–41. (In Russ.)
5. Egorov E., Ropo A., Elichev V. Adjunctive use of tafluprost with timolol provides additive effects for reduction of intraocular pressure in patients with glaucoma. *European Journal of Ophthalmology*. 2009; 19 (2): 214–222. DOI: 10.1177/112067210901900207.
6. Kolotov A. P., Lysov A. V. Amino acid composition of seeds and cakes of oilseeds in the Sverdlovsk region. *Agro-industrial complex of Russia*. 2022; 29 (3): 321–325. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-3-321-325. (In Russ.)
7. Bushnev A. S., Luchkina T. N., Orekhov G. I. Realization of the genetic potential of seed productivity of new varieties of oilseed flax, taking into account modern resource-saving technologies of the Southern Federal District. *Maslichnye kul'tury*. 2020; 3 (183): 84–91. (In Russ.)
8. Luchkina T. N., Gorbachenko O. F., Zbrailova L. P. et al. Ecological testing of oil flax varieties in the conditions of the Rostov region. *Maslichnye kul'tury*. 2020; 4 (184): 24–31. (In Russ.)
9. Luchkina T. N., Kartamysheva E. V., Bushnev A. S. et al. Application of digital technologies in assessing the adaptability of oil flax varieties. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019; 1 (30): 198–207. (In Russ.)
10. Goreeva V. N., Korepanova E. V., Fatykhov I. Sh. et al. Yield of oilseeds of domestic and foreign varieties of oil flax. *Modern achievements of plant breeding – production: Materials of the National Scientific and Practical Conference*. Izhevsk, 2021. Pp. 80–85. (In Russ.)

11. Sklyarov L. G., Ryabenko V. S., Zelentsov L. R. et al. High-oil flax collection of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds. *Maslichnye kul'tury*. 2021; 2 (186): 46–49. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-2-186-46-49. (In Russ.)
12. Eliseev S. L., Renev E. A., Boyarshinova E. V. Techniques for single-phase harvesting of oil flax varieties in the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2021; 1 (33): 26–35. (In Russ.)
13. Eliseev S. L., Renev E. A., Biniyaz M. F. The influence of sowing time on the yield of oil flax in the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2022; 2 (38): 65–69. (In Russ.)
14. Kolotov A. P., Sinyakova O. V. The influence of agrometeorological conditions of the growing season on the formation of the yield of oil flax seeds *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015; 6 (136): 6–9. (In Russ.)
15. Kolotov A. P. Yield of oil flax on gray forest soils of the Middle Urals. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 5: 3–11. (In Russ.)
16. Kolotov A. P., Borodulina F. A. Reaction of oil flax to mineral fertilizers during continuous sowing. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 5: 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-35-42. (In Russ.)
17. Kolotov A. P., Sinyakova O. V., Kiprushkina N. A. Results of the introduction of oil flax crops in the Middle Urals. *Agro-industrial complex of Russia*. 2016; 23 (2): 282–287. (In Russ.)
18. Porsev I. N., Toropova E. Yu., Kuptsevich N. A. et al. Productivity of fiber flax and oilseed flax depending on the varietal composition in the conditions of the central zone of the Kurgan region. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2016; 1 (17): 34–37. (In Russ.)
19. Kuptsevich N. A. Optimization of flax cultivation technology elements in the southern Trans-Urals. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2018; 3 (27): 38–43. (In Russ.)
20. Suleymenova A. K., Loshkomoynikov I. A. Oil flax variety Saniya. *Maslichnye kul'tury*. 2022; 1 (189): 88–91. DOI: 10.25230/2412-608X-2022-1-189-88-91. (In Russ.)
21. Suleymenova A. K. Use of the world collection of VIR in the selection of oil flax. *Collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of S. I. Leontyev*. Omsk, 2019. Pp. 270–275. (In Russ.)
22. Suleymenova A. The role of source material in the creation of new varieties of oil flax. *International Agricultural Journal*. 2019; 62 (3). DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10069. (In Russ.)
23. Suleymenova A. K. Cultivation of oil flax in Siberia. *International Agricultural Journal*. 2019; 62 (4): 17. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10092. (In Russ.)
24. Pershakov A. Yu., Belkina R. I. Productivity of collection samples of oil flax in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Vestnik KrasGAU*. 2020; 12 (165): 40–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-40-45. (In Russ.)
25. Pershakov A. Yu., Belkina R. I., Suleymenova A. K. Productivity and quality of seeds of oil flax varieties under the influence of fertilizers in the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Vestnik KrasGAU*. 2021; 6 (171): 11–17. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-11-17. (In Russ.)
26. Pershakov A., Belkina R., Suleymenova A., Loskomoynikov I. Productivity of oil flax varieties in the conditions of northern forest steppe of Tyumen region. *E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness INTERAGROMASH 2021*. Rostov-on-Don, 2021. Vol. 273. Article number 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301028.
27. Ivanenko A. S., Kulyasova O. A. Agroclimatic conditions of the Tyumen region. Tyumen: TGSKhA, 2008. 206 p. (In Russ.)
28. Mamyrko Yu. V., Bushnev A. S. Changes in the structure of the oil flax crop depending on weather conditions, the use of fertilizers and seed sowing rates. *Grain Economy of Russia*. 2020; 1 (67): 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-11-16. (In Russ.)
29. Kolotov A. P. Highly productive oil flax crops in the Middle Urals. *Maslichnye kul'tury*. 2019; 1 (177): 60–66. (In Russ.)

Authors' information:

Anatoliy Yu. Pershakov, candidate of agricultural sciences, lecturer at the department of biotechnology and plant breeding, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-5277-7880, AuthorID 934615. E-mail: pershakov.93@mail.ru

Raisa I. Belkina, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and plant breeding, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-7000-5649, AuthorID 272212. E-mail: raisa-medvedko@mail.ru

Elizaveta A. Porokhovinova, doctor of biological sciences, senior researcher, Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-8328-9684, AuthorID 413565. E-mail: e.porokhovinova@mail.ru

Сравнительная агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири

Л. В. Юшкевич, Д. Н. Ющенко[✉], А. Г. Щитов, С. П. Кашинская

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

[✉]E-mail: yushchenko@anc55.ru

Аннотация. Длительные (более 20 лет) исследования проведены на лугово-черноземной почве в южной лесостепной зоне Западной Сибири. В стационарном зернопаровом севообороте (пар – пшеница – пшеница – пшеница – ячмень) проведена сравнительная оценка плодородия, состояния агрофитоценоза, урожайности и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от размещения культуры в севообороте, системы обработки почвы, комплексной химизации. **Цель исследований** – установить влияние и результативность разноуровневых агротехнологий яровой пшеницы на элементы почвенного плодородия, состояние агрофитоценоза, продуктивность и технологические свойства зерна в южной лесостепи Западной Сибири. **Методы исследования.** Стационарные исследования проведены в южно-лесостепной почвенно-климатической зоне Омской области в 2001–2021 гг. в зернопаровом севообороте (пар – пшеница – пшеница – пшеница – ячмень). Двухфакторный опыт: фактор А – система обработки почвы; фактор В – средства интенсификации (контроль – без средств химизации, вариант комплексного применения средств химизации включал совместное применение удобрений, рекомендованных гербицидов, фунгицидов и ретардантов). **Результаты.** Установлено, что интенсивная агротехнология с применением удобрений и средств защиты растений вносит основной вклад в повышение урожайности и технологических параметров зерна – 30–35 %, предшественники – до 20–25 %, погодные условия вегетационного периода – 18–20 %, система обработки почвы в севообороте – 10–12 %. Комплексное применение средств химизации способствует повышению биомассы культуры до 2080 г/м² (на 49 %), снижает водопотребление до 73 мм на 1 т зерна (в 2,7 раза), оптимизирует питательный режим почвы и фитосанитарное состояние агрофитоценоза, что в конечном счете повышает урожайность с 1,51 до 3,27 т/га при улучшении технологических свойств зерна содержанием клейковины до 26,4–29,4 %. **Научная новизна.** В южно-лесостепных агроландшафтах установлена результативность разноуровневых агротехнологий возделывания яровой пшеницы, с ростом урожайности с 1,51 до 3,24 т/га (в 2,1 раза) и уменьшением технологических параметров зерна. Впервые установлено долевой вклад компонентов химизации в повышении продуктивности яровой пшеницы, возделываемой по пару и в зернопаровом севообороте.

Ключевые слова: яровая пшеница, полевой севооборот, предшественник, агротехнология, урожайность, качество зерна

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

Дата поступления статьи: 12.01.23, **дата рецензирования:** 13.06.2023, **дата принятия:** 22.06.2023.

Comparative agrotechnological assessment of spring wheat cultivation in the southern forest-steppe of Western Siberia

L. V. Yushkevich, D. N. Yushchenko✉, A. G. Shchitov, S. P. Kashinskaya

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia

✉E-mail: yushchenko@anc55.ru

Abstract. Long-term (more than 20 years) studies were carried out on meadow – chernozem soil in the southern forest-steppe zone of Western Siberia. In a stationary grain-steam crop rotation (steam-wheat-wheat-wheat-barley), a comparative assessment of fertility, the state of agrophytocenosis, yield and quality of spring wheat grain, depending on the placement of the crop in the crop rotation, the tillage system, and complex chemicalization was carried out. **The purpose of the research** is to establish the influence and effectiveness of multi-level agricultural technologies of spring wheat on the elements of soil fertility, the state of agrophytocenosis, productivity and technological properties of grain in the southern forest-steppe of Western Siberia. **Research methods.** Stationary studies were carried out in the southern forest-steppe soil-climatic zone of the Omsk region in 2001–2021. In grain-fallow crop rotation (fallow – wheat – wheat – wheat – barley). Two-factor experience: factor A – tillage system (dump-plowing on the head of 20–22 cm, annually; combined-plowing in the fallow field and under the third wheat after steam for 20–22 cm and flat-cut on the head of 10–12 for the second wheat after steam barley; flat-cut on the head of 10–12 cm for all crops annually; minimal – in the fallow field cultivation on the 8–10 cm. in other fields without autumn treatment); factor B – means of intensification (control – without chemicals, the option of complex application of chemicals included the combined use of fertilizers, recommended herbicides, fungicides and retardants). **Results.** It was found that intensive agrotechnology with the use of fertilizers and plant protection products makes the main contribution to increasing the yield and technological parameters of grain – 30–35 %, precursors – up to 20–25 %, weather conditions of the growing season – 18–20 %, the system of tillage in crop rotation – 10–12 %. The complex application of chemicals contributes to an increase in crop biomass to 2080 g/m² (by 49 %), reduces water consumption to 73 mm per 1 t of grain (2.7 times), optimizes the nutrient regime of the soil and the phytosanitary state of agrophytocenosis, which ultimately increases yields from 1.51 to 3.27 t/ha while improving the technological properties of grain gluten content up to 26.4–29.4 %. Long-term rational use of chemicals does not lead to the accumulation of ecotoxins in soil and grain. **The scientific novelty** was revealed for the conditions of Western Siberia with the long-term rational use of chemicals, the accumulation of ecotoxins in the soil and grain was not observed.

Keywords: spring wheat, field crop rotation, precursor, agrotechnology, yield, grain quality

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

Date of paper submission: 12.01.23, **date of review:** 13.06.2023, **date of acceptance:** 22.06.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В Западно-Сибирском регионе Омская область по итоговому сальдо хлебного баланса относится к числу вывозящих качественное зерно при производстве на душу населения до 1,6–2,0 т, что в 1,7 раза выше, чем в среднем по России. Площадь пашни в южно-лесостепных агроландшафтах составляет 1,10 млн га, или 30 % от пахотных земель области с высокой концентрацией в посевах зерновых и зернобобовых культур (до 71 %), среди которых преобладает яровая пшеница – 394 тыс. га, (64,2 %).

Почвенный покров пашни представлен черноземными и лугово-черноземными почвами (44,8 %) с преобладанием почв тяжелого гранулометрического состава и содержанием гумуса до 8 %. Эродированной пашни в почвенно-климатической зоне 30–35 %, облесенность – до 12 %. В связи с крайне низким внесением минеральных удобрений за последние 30 лет (до 10–15 кг/га) дефицит элементов питания, особенно нитратного азота, достигает 50–70 кг NPK.

Южная лесостепь имеет относительно благоприятную теплообеспеченность и недостаточное в большинстве лет увлажнение. Годовое количество осадков – 350–420 мм, за теплый период (выше 5 °C) – 180–200 мм. Вегетационные периоды с атмосферной засухой составляют 8–16 суток, количество лет с засухой – около 30 %, безморозный период – 110–130 суток, с активными температурами (более 10 °C) – 125–128 суток, коэффициент увлажнения – 0,51–0,60 [1–3].

В связи со значительным расслоением товаропроизводителей по уровню ресурсного обеспечения и технических возможностей в настоящее время актуальны поиск и сравнительная оценка агротехнологий при возделывании зерновых культур в различных почвенно-климатических зонах региона [4].

Методология и методы исследования (Methods)

Стационарные исследования проведены в южно-лесостепной почвенно-климатической зоне Омской области в 2001–2021 гг. в зернопаровом севообороте (пар – пшеница – пшеница – пшеница – ячмень).

Двухфакторный опыт: фактор А – система обработки почвы (отвальная – вспашка на глубину 20–22 см, ежегодно; комбинированная – вспашка на паровом поле и под третью пшеницу после пара на 20–22 см и плоскорезная на глубину 10–12 см под вторую пшеницу после пара, плоскорезная на глубину 10–12 см под все культуры ежегодно; минимальная – в паровом поле культивация на глубину 8–10 см, в других полях без осенней обработки); фактор В – средства интенсификации (контроль – без средств химизации, вариант комплексного применения средств химизации включал совместное применение удобрений ($N_{24}P_{36}$ на 1 га пашни), рекомендованных гербицидов, фунгицидов и ретардантов).

Сорта яровой пшеницы Памяти Азиева, Омская 36 высевали сеялкой СЗ-3,6, с 2012 года – ПК Selford 18–25 мая с нормой высева по пару 5,0 млн семян, 2–3-й культуры – 4,5 млн зерен на 1 га. Уборка однофазная комбайном «Сампо-500» с оставлением соломы на поле. Площадь участков первого порядка – 2700 м², второго – 450 м², учетная площадь – 36 м². Размещение систематическое, повторность четырехкратная.

Почва лугово-черноземная среднесиловатая с содержанием гумуса до 8 %. Наблюдения за состоянием почвенного плодородия и агрофитоценоза проводятся общепринятыми методиками [5; 6]. Погодные условия за годы исследований в целом были относительно засушливые (ГТК = 1,02 при норме 1,10).

Результаты (Results)

Оптимизация рационального чередования культур в полевом севообороте – фундамент адаптивно-ландшафтного земледелия региона, обеспечивающий наибольшую урожайность и выход качественного зерна с 1 га пашни.

Исследованиями в лесостепной почвенно-климатической зоне установлено, что повторные посевы неплохо переносят пропашные культуры, зерносмеси с зернобобовыми, гречиху, картофель, снижая продуктивность относительно чередования их в севообороте на 10–20 %. Повторные посевы озимых культур, яровой мягкой и твердой пшеницы, зернобобовых, проса, подсолнечника, рапса снижают продуктивность до 40–50 % [7].

Для яровой пшеницы в засушливых агроландшафтах, кроме качественного парового поля, хорошие предшественники – кукуруза, зернобобовые, озимые, подсолнечник на силос, гречиха, просо, которые обеспечивают прибавку зерна по сравнению с бессменной пшеницей от 0,3 до 0,9 т/га, удовлетворительный овес. Зерновые культуры при размещении второй культурой после пара – лучше предшественники для посевов яровой пшеницы, чем сама пшеница, вследствие нарастания негативных факторов. Так, на бессменной культуре в лесостепной зоне содержание нитратного азота снижается в метровом слое с 132 до 40 кг/га (в 3,3 раза), засоренность агрофитоценоза возрастает с 7 до 26 % (в 3,7 раза), водопотребление на 1 т зерна – со 102 до 201 мм (в 2,0 раза), поражение растений корневыми гнилями – в 1,6 раза [4; 8]. В этой связи без применения удобрений, в первую очередь азотных, даже при ограниченных дозах (до 60 кг/га) получить высокую продуктивность качественного зерна яровой пшеницы проблематично.

Длительными (21 год) исследованиями выявлено, что урожайность яровой пшеницы в южно-лесостепных агроландшафтах Западной Сибири во многом определяется уровнем интенсификации агротехнологий и размещением культуры в зернопаровом севообороте. Интенсивная технология возделывания с применением ограниченных доз удобрений и средств защиты растений от сорняков и листовых инфекций способствуют росту продуктивности культуры и в среднем до 3,27 т/га, или в 2,2 раза, ячменя – в 3,2 раза относительно экстенсивного варианта. Яровая пшеница, высеваемая повторно, из-за нарастания негативных факторов (водопотребление, питательный режим, засоренность и инфицированности агрофитоценоза) снижает продуктивность относительно парового предшественника до 1,73 т/га, или в 1,6 раза (таблица 1).

В преобладающем экстенсивном зерновом производстве региона яблечная обработка почвы способствует повышению водопроницаемости, улучшению питательного (прежде всего азотного) режима, подавлению засоренности агрофитоценоза и повышению выхода зерна с 1 га пашни до 0,17–0,25 т/га (9–15 %). Осенью 2021 года основная обработка почвы южной лесостепи Омской области проведена на площади 0,51 млн. га или на 47% от зональной пашни.

Таблица 1

Влияние разноуровневых агротехнологий на урожайность (т/га) яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири, 2001–2021 гг.

Размещение яровой пшеницы (В)	Агротехнология (фактор А)				Среднее по В НСР ₀₅ – 0,05 т/га
	Экстенсивная (без химизации)	Нормальная (гербициды)	Полуинтенсивная (удобрения+ гербициды)	Интенсивная (комплексная химизация)	
Яровая пшеница по пару	2,05	2,44	2,77	4,02	2,82
Вторая	1,45	1,96	2,34	3,26	2,25
Третья	1,03	1,53	1,83	2,54	1,73
Среднее по А, НСР ₀₅ = 0,07 т/га	1,51	1,98	2,31	3,24	

Agrotechnologies

Table 1

The influence of multi-level agricultural technologies on the yield (t/ha) of spring wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia, 2001–2021

Placement of spring wheat (B)	Agrotechnology (factor A)				The average B LSD ₀₅ – 0.05 t/ha
	Extensive (without chemicalization)	Normal (herbicides)	Semi-intensive (fertilizers + herbicides)	Intensive (complex chemicalization)	
Spring wheat by steam	2.05	2.44	2.77	4.02	2.82
Second	1.45	1.96	2.34	3.26	2.25
Third	1.03	1.53	1.83	2.54	1.73
Average for A, LSD ₀₅ – 0.07 t/ha	1.51	1.98	2.31	3.24	

В почвенно-климатических зонах с недостаточным (менее 400 мм) и неустойчивым увлажнением паровой предшественник яровой пшеницы остается пока основой зернового производства вследствие оптимизации почвенного плодородия и агрофитоценоза.

Сравнительная агротехнологическая оценка показала, что системы основной обработки с различной степенью воздействия на верхний слой лугово-черноземных почв, размещение яровой пшеницы в севообороте и комплексная химизация оказывают заметное влияние на элементы почвенного плодородия, состояние агрофитоценоза и продуктивность яровой пшеницы (таблица 2).

Длительными исследованиями установлено, что в верхнем (0–30 см) слое лугово-черноземной почвы под повторными посевами отмечается уплотнение и снижение влагозапасов.

В связи с существенным снижением продуктивности яровой пшеницы и ухудшением водного режима водопотребление на 1 т зерна возрастает в среднем с 93,8 до 177,0 мм, или в 1,9 раза, перед посевом культуры содержание N-NO₃ уменьшается до 8,9 мг/кг, подвижного фосфора – на 15 %, калий остается практически без изменений при высокой обеспеченности почвы относительно пшеницы по паровому предшественнику.

В агрофитоценозе яровой пшеницы в повторных посевах наблюдается повышение удельной

биомассы сорного компонента в среднем до 22,5 % (в 1,6 раза), возрастает инфицированность растений корневыми гнилями до 9,6 %. Развитие листостеблевых болезней на верхнем ярусе листьев (флаговый и подфлаговый) на паровом предшественнике в основном из-за более плотного стеблестоя и повышения в растениях азота усиливается. При нарастании биомассы культуры по паровому предшественнику с 1431 до 2048 г/м² урожайность яровой пшеницы повышается в среднем до 3,08 т/га (в 1,9 раза), клейковина в зерне – с 24,7 до 29,2 %.

Сравнительная оценка элементов плодородия и агрофитоценоза в посевах яровой пшеницы на ресурсосберегающей комбинированной и минимальной обработке почвы свидетельствует, что в последнем повышается до оптимальных параметров уплотнение верхнего слоя (1,10–1,16 г/см³), водопотребление на 1 т, зерна возрастает до 146,5 мм (19 %) содержание N-NO₃ уменьшается в среднем до 11,8 мг/кг, изменения в содержании подвижного фосфора и калия незначительные. Биомасса сорного компонента в агрофитоценозе культуры на минимальной обработке повышается в среднем до 19,7 % (на 39 %), инфицированность корневой системы растений – до 10,8 % (на 41 %) в основном на варианте экстенсивной агротехнологии, что способствует снижению урожайности в среднем на 0,19 т/га и клейковины в зерне с 27,7 до 26,2 %.

Таблица 2

Сравнительная агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири, 2004–2021 гг.

Агротехнологии

Факторы почвенного плодородия и агрофитоценоза		Вариант химиза- ции	Пшеница			
			По пару		Повторный посев	
			Система обработки почвы			
			Комбиниро- ванная	Минималь- ная	Комбиниро- ванная	Минималь- ная
Биомасса культуры, г/м²		э	1707	1550	1318	1022
		и	2546	2388	1868	1516
Водопотребление на 1 т зерна, мм		э	109	137	252	290
		и	58	67	74	92
N-NO ₃ (0–40см), мг/кг		э	13,6	14,8	9,2	6,5
		и	20,4	18,1	12,2	7,8
P ₂ O ₅ (0–20см), мг/кг		э	152	142	134	118
		и	228	217	187	191
K ₂ O (0–20см), мг/кг		э	252	263	238	252
		и	258	269	258	268
Биомасса сорняков, %		э	23,0	23,9	35,8	40,8
		и	4,9	6,0	5,3	8,2
Развитие корневых гнилей, %		э	8,4	12,9	8,6	13,8
		и	6,3	7,7	7,3	8,8
Листостебель- ные болезни	Бурая ржавчина	э	14,4	9,6	12,6	10,5
		и	1,6	2,1	0,9	0,7
	Септориоз	э	7,2	7,7	5,7	5,1
		и	4,2	3,4	2,4	2,6
	Мучнистая росса	э	4,8	5,1	8,7	5,4
		и	2,4	2,0	3,5	2,6
Урожайность, т/га		э	2,09	1,89	0,90	0,69
		и	4,20	4,12	2,36	2,10
Клейковина в зерне, %		э	28,5	27,8	25,4	24,0
		и	31,2	29,1	25,6	23,8

Примечание. Э – экстенсивная агротехнология; и – интенсивная.

Table 2

Comparative agrotechnological assessment of spring wheat cultivation in the southern forest-steppe of Western Siberia, 2004–2021

Factors of soil fertility and agrophytocenosis		Chemiza- tion op- tion	Wheat			
			Fallow		Re-seeding	
			Soil treatment system			
			Combined	Minimum	Combined	Minimum
Crop biomass, g/m ²		e	1707	1550	1318	1022
		i	2546	2388	1868	1516
Water consumption per 1 ton of grain, mm		e	109	137	252	290
		i	58	67	74	92
N-NO ₃ (0–40 cm), mg/kg		e	13.6	14.8	9.2	6.5
		i	20.4	18.1	12.2	7.8
P ₂ O ₅ (0–20 cm), mg/kg		e	152	142	134	118
		i	228	217	187	191
K ₂ O (0–20 cm), mg/kg		e	252	263	238	252
		i	258	269	258	268
Weed biomass, %		e	23.0	23.9	35.8	40.8
		i	4.9	6.0	5.3	8.2
Development of root rot, %		e	8.4	12.9	8.6	13.8
		i	6.3	7.7	7.3	8.8
Leaf-stem diseases	Brown rust	e	14.4	9.6	12.6	10.5
		i	1.6	2.1	0.9	0.7
	Septoria	e	7.2	7.7	5.7	5.1
		i	4.2	3.4	2.4	2.6
	Powdery rossa	e	4.8	5.1	8.7	5.4
		i	2.4	2.0	3.5	2.6
Yield, t/ha		e	2.09	1.89	0.90	0.69
		i	4.20	4.12	2.36	2.10
Gluten in grain, %		e	28.5	27.8	25.4	24.0
		i	31.2	29.1	25.6	23.8

Note. E – extensive agricultural technology; i – intensive agricultural technology.

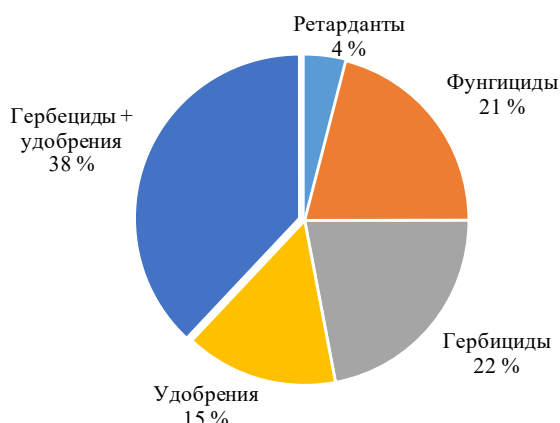


Рис. 1. Долевое участие (%) факторов интенсификации в повышении урожайности (зернопаровой севооборот, южная лесостепь), 2004–2020 гг.

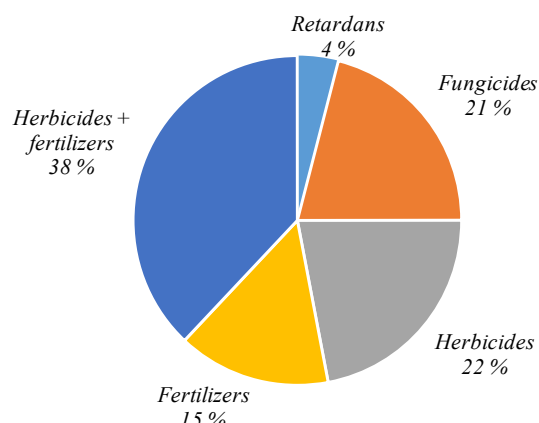


Fig. 1. Share participation (%) of intensification factors in increasing yields (grain-pair crop rotation, southern forest-steppe), 2004–2020

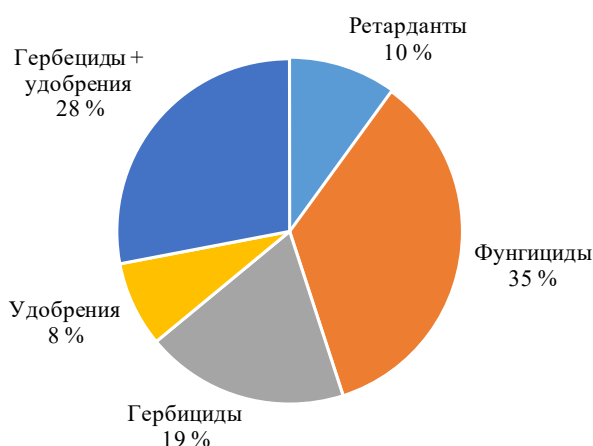


Рис. 2. Долевое участие (%) факторов интенсификации в повышении урожайности яровой пшеницы по пару (зернопаровой севооборот, южная лесостепь), 2004–2020 гг.

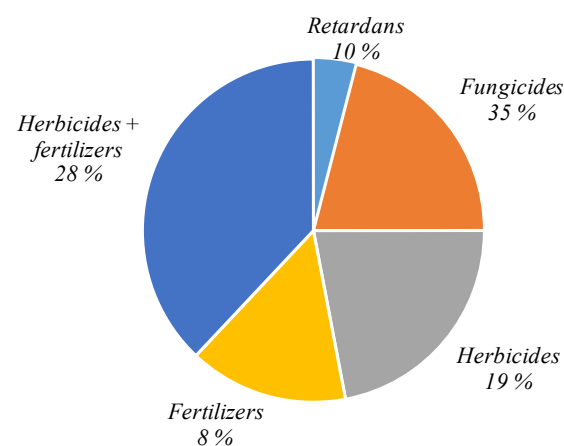


Fig. 2. The share participation (%) of intensification factors in increasing the yield of spring wheat by steam (grain-pair crop rotation, southern forest-steppe), 2004–2020

Интенсивная агротехнология возделывания яровой пшеницы с комплексным применением удобрений и средств защиты растений способствует наиболее существенным положительным изменениям плодородия черноземной почвы и состояния агрофитоценоза. При общем повышении биомассы культуры до 2080 т/м², (на 49 %) водопотребление яровой пшеницы на 1 т зерна снижается в среднем до 73 мм (в 2,7 раза), оптимизируется питательный режим почвы. Интенсивная технология возделывания способствует существенному снижению засоренности агрофитоценоза – в среднем до 6,1 % (в 5,1 раза), развитию корневых гнилей – с 10,9 до 7,5 %. Поражение верхнего яруса листьев яровой пшеницы бурой ржавчиной при своевременной обработке фунгицидами снижается в среднем с 11,8 до 1,3 % (в 9,1 раза), септориозом – с 6,4 до 3,1 % (в 2,1 раза), мучнистой росой – с 5,2 до 2,6 % (в 2,0 раза), что приводит в конечном итоге к повышению продуктивности культуры на повторном посеве – до 2,23 т/га, паровом предшественнике – до 4,16 т/га при оптимизации технологических па-

раметров зерна. Остатки экотоксикантов в почве и зерне не обнаружены.

Наблюдениями установлено, что после освоения целинных и залежных земель в 60-е годы сложившиеся агроценозы с насыщением зерновыми культурами по сравнению природными системами стали обладать неустойчивостью противостоять сорнякам, вредителям и многочисленными инфекциями. По оценке ученых, современному растениеводству причиняется ущерб от недобора продукции от 8 000 видов сорняков, вредителей и болезней до 40–45 % с потерей урожая более 100 млн тонн [9; 10]. Выявленные ранее потери зерна от листовых инфекций в Сибирском регионе в 10–15 % потенциальной продуктивности явно занижены. К сожалению, иммунная устойчивость сортов культуры к фитопатогенам защищает новые сорта не более 5–8 лет [11; 12].

В этой связи наиболее радикальным способом борьбы с листовыми инфекциями является обработка посевов системными фунгицидами. В 2001 году площадь посевов, обработанных фунгицидами, составила в Омской области 494 тыс. га.

Таблица 3

Влияние комплексной химизации и предшественника на качество зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири, 2005–2019 гг.

Размещение яровой пшеницы после пара	Качество зерна					Урожайность, т/га
	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Стекловид- ность, %	Содержание, %		
				Белок	Клейковина	
Экстенсивная агротехнология						
Первая пшеница	32,2	740	50	13,6	27,5	2,08
Вторая пшеница	32,4	752	45	12,6	25,1	1,49
Третья пшеница	30,6	747	41	12,0	23,9	1,08
Среднее	31,7	746	45	12,7	25,5	1,55
Интенсивная агротехнология						
Первая пшеница	35,6	750	51	14,6	29,4	3,98
Вторая пшеница	36,1	761	48	13,5	27,0	3,26
Третья пшеница	35,1	762	49	13,1	26,4	2,08
Среднее пшеница	35,6	758	49	13,7	27,6	3,11

Table 3

Effect of complex chemicalization and precursor on the quality of spring wheat grain in the southern forest-steppe of Western Siberia, 2005–2019

Placement of spring wheat after steam	Grain quality					Yield, t/ha
	Weight of 1000 grains, g	Nature, g/l	Glassness, %	Content, %		
				Protein	Gluten	
Extensive agricultural technology						
First wheat	32.2	740	50	13.6	27.5	2.08
Second wheat	32.4	752	45	12.6	25.1	1.49
Third wheat	30.6	747	41	12.0	23.9	1.08
Average	31.7	746	45	12.7	25.5	1.55
Intensive agricultural technology						
First wheat	35.6	750	51	14.6	29.4	3.98
Second wheat	36.1	761	48	13.5	27.0	3.26
Third wheat	35.1	762	49	13.1	26.4	2.08
Average	35.6	758	49	13.7	27.6	3.11

Длительными исследованиями, проведенными в стационарном севообороте южно-лесостепной зоны Западной Сибири, установлено, что долевым вкладом компонентов химизации в повышение урожайности яровой пшеницы неравноценен. Прибавки зерна культуры в севообороте проявляются в различной степени и располагаются в возрастающей последовательности: ретарданты (0,09 т/га – 4 %) – удобрения (0,31 т/га – 15 %) – фунгициды (0,44 т/га – 21 %) – гербициды (0,46 т/га – 22 %) – гербициды + удобрения (0,78 т/га – 38 %). Яровая пшеница, возделываемая по паровому предшественнику, имеет более плотный стеблестой и облиственность верхнего яруса, повышенное содержание азота, сильнее поражается листовыми инфекциями. В этой связи прибавки зерна, особенно во влажные годы с повышенным поражением растений листовыми болезнями, в том числе и стеблевой ржавчиной (2002, 2007, 2008, 2015, 2016, 2019, 2020 гг.), составляют 0,5–1,2 т/га и более. В засушливые годы (ГТК менее 0,70) при ограниченном проявлении

стеблевых инфекций (2021–2022 гг.) прибавки зерна от фунгицидной обработки посевов не превышают 0,20–0,32 т/га (9–15%), что показано на рис. 1, 2.

В последние 25–30 лет в России наблюдается негативная тенденция ухудшения качественных параметров зерна, в первую очередь клейковины. Так, если в доперестроечные 80-е годы в стране производство зерна пшеницы III класса составляло до 80 %, то в настоящее время его заготовка снизилась до 40–45 %. В Омской области, которая славилась в 70–80-е гг. производством высококачественного зерна (премия Совета министров СССР в 1982 г.) в последние годы (2019–2021 гг.) заготовка зерна яровой пшеницы III класса уменьшалась до 35–40 %, а IV–V – составила более 55 %. Причинами ухудшения технологических свойств зерна яровой пшеницы являются нарушение зональных агротехнологий возделывания ведущей культуры, сокращение качественных предшественников, в том числе паров, посевов зернобобовых культур, крайне низкое применение минеральных удобрений (до 15–20 кг/га),

снижение плодородия черноземных почв, расширение в условиях экстенсивного земледелия «нулевых» обработок почвы, высокая засоренность и инфицированность посевов, некачественные сорта [13–15].

Исследованиями установлено, что интенсивная агротехнология возделывания яровой пшеницы с ограниченной дозой удобрений (до 60 кг/га) и средств защиты растений вносят основной вклад в повышение урожайности и технологических параметров зерна – 30–35 %, предшественники – до 20–25 %, погодные условия вегетационного периода – 18–20 %, система обработки почвы в севообороте – 10–12 %.

Наблюдения показали, что при удалении посевов яровой пшеницы от парового предшественника установлена устойчивая закономерность существенного снижения белковости зерна на 10–12 %, содержания клейковины – до 23,9–26,4 % (на 11–17 %), стекловидности – до 41–49 % при практически неизменных показателях натурной массы и 1000 зерен (таблица 3).

Интенсивная агротехнология возделывания яровой пшеницы с применением ограниченных доз удобрений и средств защиты растений способствовала повышению массы 1000 зерен в среднем до 35,6 т (на 12,3 %), натуре – до 758 г/л, стекловидности – в среднем до 49,3 % (на 9 %), белковости – на 13,7 % и клейковины в зерне – до 27,6 %. Рациональное применение средств интенсификации не приводило к накоплению в почве и зерне экотоксикантов.

Обсуждения и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, урожайность и качество зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири во многом определяются зональной агротехнологией. Основная доля в прибавках качественного зерна приходится на удобрения и гербициды (31 %), в последние годы – на фунгициды 36 %, особенно на паровом предшественнике [16–18]. При преобладающих экстенсивных агротехнологиях паровой предшественник и рациональная ресурсосберегающая система обработки почвы остаются положительным фактором повышения урожайности и качества зерна. Интенсивная агротехнология способствует повышению биомассы культуры до 2080 г/м² (на 49 %), снижению водопотребления на 1 т зерна – до 73 мм (в 2,7 раза) оптимизации питательного режима, снижает долю сорного компонента в агрофитоценозе до 6,1 % (в 5,1 раза), уменьшению поражения растений корневыми гнилями, листовостеблевыми инфекциями (в 2,1–9,1 раза) при существенном росте продуктивности и оптимизации технологических свойств зерна. Масса 1000 зерен при комплексной химизации повышалась в среднем до 35,6 г (на 12,3 %), натура – до 758 т/л, стекловидность – до 49,3 %, белковость – до 13,7 %, клейковина в зерне – до 27,6 %. Комплексными исследованиями выявлены резервы повышения продуктивности и качества зерна яровой мягкой пшеницы в южно-лесостепных агроландшафтах западной Сибири, установлен долевым вклад компонентов химизации в повышение урожайности качественного зерна. Длительное рациональное применение средств химизации не приводит к накоплению в почве и зерне экотоксикантов.

Библиографический список

1. Кутилкин В. Г. Влияние основной обработки почвы на ее физические свойства, фитосанитарное состояние посевов и урожайность яровой пшеницы // Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сборник международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора сельскохозяйственных наук Юшкевича Леонида Витальевича. Омск, 2022. С. 115–121.
2. Илюшкина О. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность полевых севооборотов и вынос питательных веществ из почвы с урожаем в условиях Западно-Сибирского Нечерноземья // Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сборник международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора сельскохозяйственных наук Юшкевича Леонида Витальевича. Омск, 2022. С. 37–43.
3. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Оксукбаева А. М. Основная обработка почвы в системе инновационных технологий возделывания зерновых // Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сборник международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора сельскохозяйственных наук Юшкевича Леонида Витальевича. Омск, 2022. С. 276–286.
4. Юшкевич Л. В., Чибис В. В. [и др.] Оптимизация полевых севооборотов и структуры пашни при возделывании яровой пшеницы Омской области: рекомендации. Омск: изд-во ИП Макшеева Е. А., 2020. 44 с.
5. Соколов А. В. Агротехнологические методы исследования почв. Москва: Наука, 1975. 656 с.
6. Ющенко Д. Н. Борьба с сорняками при возделывании пшеницы в зернопаровом севообороте по нулевой технологии // Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сборник международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора сельскохозяйственных наук Юшкевича Леонида Витальевича. Омск, 2022. С. 154–163.

7. Торопова Е. Ю. [и др.]. Фитосанитарные последствия приемов обработки почвы в лесостепи Западной Сибири // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2012. № 3 (28). С. 86–91.
8. Хамова О. Ф. [и др.]. Биологическая активность лугово-черноземных почв Омского Прииртышья: монография. Омск: Омскбланкиздат, 2019. 96 с.
9. Юшкевич Л. В., Хамова О. Ф., Щитов А. Г., Шулико Н. Н., Тукмачева Е. В. Агроэкологические особенности возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2019. № 4 (109). С. 42–46. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.14.
10. Усенко В. И. Продуктивность агроценозов и качество зерна пшеницы в зависимости от обработки почвы и средств интенсификации // Земледелие. 2018. № 8. С. 30–33. DOI: 10.24411/0044-39.
11. Романов В. Н., Шевырногов А. П., Ивченко В. К., Полосина В. А. [и др.]. Влияние минимальной обработки на структурное состояние почвы // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 58–60. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-58-65.
12. Пахотина И. В. [и др.] Формирование качества зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от предшественника и средств химизации // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 1 (69). С. 28–31.
13. Федоренко В. Ф., Завалина А. А., Милащенко Н. З. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. Москва: Росинформатех, 2018. 396 с.
14. Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Зоров А. А., Максютков Н. А., Зенкова Н. А. Стабилизация плодородия почвы и повышение продуктивности севооборотов // Плодородие. 2022. № 5 (128). С. 16–20. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.04.
15. Якушев В. П., Канаш Е. В., Русаков Д. В., Якушев В. В., Блохина С. Ю., Петрушин А. Ф., Блохин Ю. И., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. № 1. С. 98–112. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.98rus.
16. Сыздыкова Г. Т., Середа С. Г., Малицкая Н. В. Подбор сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по адаптивности к условиям степной зоны Акмолинской области Казахстана // Сельскохозяйственная биология. 2018. № 1. С. 103–110. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.103rus.
17. Кем А. А. [и др.]. Совершенствование способов посева зерновых в Западной Сибири // Зерновое хозяйство. 2007. № 1. С. 17–19.
18. Reckling M., Hecker J.-M., Bergkvist G., Watson C., Zander P., Stoddard F., Eory V., Topp K., Maire J., Bachinger J. A cropping system assessment framework - evaluating effects of introducing legumes into crop rotations // European Journal of Agronomy. 2016. Vol. 76. Pp. 186–197. DOI: 10.1016/J.EJA.2015.11.005.

Об авторах:

Леонид Витальевич Юшкевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией ресурсосберегающих агротехнологий, Омский аграрный научный центр, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-6203-10787, AuthorID 488080. E-mail: yushkevitchLV@yandex.ru

Денис Николаевич Ющенко, старший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-7387-8055, AuthorID 1122180. E-mail: yushchenko@anc55.ru

Александр Григорьевич Щитов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-2496-5830, AuthorID 486110. E-mail: shchitov@mail.ru

Светлана Петровна Кашинская, научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-3567-2670, AuthorID 644012. E-mail: s.kashinskaya@anc55.ru

References

1. Kutilkin V. G. The effect of basic tillage on its physical properties, the phytosanitary condition of crops and the yield of spring wheat. *Innovative technologies in agriculture and crop production: collection of international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of doctor of agricultural sciences Leonid Vitalievich Yushkevich*. Omsk, 2022. Pp. 115–121. (In Russ.)
2. Ilyushkina O. V. The effect of mineral fertilizers on the productivity of field crop rotations and the removal of nutrients from the soil with harvest in the conditions of the West Siberian Non-Chernozem region. *Innovative technologies in agriculture and crop production: collection of international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of doctor of agricultural sciences Leonid Vitalievich Yushkevich*. Omsk, 2022. Pp. 37–43. (In Russ.)

3. Abramov N. V., Semizorov S. A., Oksukbaeva A. M. The main tillage in the system of innovative technologies of grain cultivation. *Innovative technologies in agriculture and crop production: collection of international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of doctor of agricultural sciences Leonid Vitalievich Yushkevich*. Omsk, 2022. Pp. 276–286. (In Russ.)
4. Yushkevich L. V., Chibis V. V. et al. Optimization of field crop rotations and arable land structure in the cultivation of spring wheat in the Omsk region: rekomendatsii. Omsk: izd-vo IP Maksheeva E. A., 2020. 44 p. (In Russ.)
5. Sokolov A. V. Agrotechnological methods of soil research. Moscow: Nauka, 1975. 656 p. (In Russ.)
6. Yushchenko D. N. Weed control in the cultivation of wheat in the grain-steam crop rotation using zero technology. *Innovative technologies in agriculture and crop production: collection of international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of doctor of agricultural sciences Leonid Vitalievich Yushkevich*. Omsk, 2022. Pp. 154–163. (In Russ.)
7. Toropova E. Yu. et al. Phytosanitary consequences of tillage techniques in the forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of the BSSA named after V. R. Filippov*. 2012; 3 (28): 86–91. (In Russ.)
8. Khamova O. F. et al. Biological activity of meadow-chernozem soils of the Omsk Irtysh region: monograph. Omsk: Omskblankizdat, 2019. 96 p. (In Russ.)
9. Yushkevich L. V., Khamova O. F., Shchitov A. G., Shuliko N. N., Tukmacheva E. V. Agroecological features of barley cultivation in the forest-steppe of Western Siberia. *Plodorodie*. 2019; 4 (109): 42–46. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.14. (In Russ.)
10. Usenko V. I. Productivity of agrocenoses and quality of wheat grain depending on tillage and means of intensification: *Zemledelie*. 2018; 8: 30–33. DOI: 10.24411/0044-39. (In Russ.)
11. Romanov V. N., Shevyrnogov A. P., Ivchenko V. K., Polosina V. A. et al. The effect of minimal tillage on the structural condition of the soil. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 5 (182): 58–60. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-58-65. (In Russ.)
12. Pakhotina I. V. et al. Formation of the grain quality of spring soft wheat depending on the precursor and the means of chemicalization. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2018; 1 (69): 28–31. (In Russ.)
13. Fedorenko V. F., Zavalina A. A., Milashchenko N. Z. Стабилизация плодородия почвы и повышение продуктивности севооборотов. Moscow: Rosinformatekh, 2018. 396 p. (In Russ.)
14. Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Zorov A. A., Maksyutov N. A., Zenkova N. A. The possibility of stabilizing soil fertility and increasing crop rotation productivity by saturation with intermediate crops and sideral steam. *Plodorodie*. 2022; 5 (128): 16–20. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.04. (In Russ.)
15. Yakushev V. P., Kanash E. V., Rusakov D. V., Yakushev V. V., Blokhina S. Yu., Petrushin A. F., Blokhin Yu. I., Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P. Correlations between vegetation indices, grain yield and optical characteristics of wheat leaves with different nitrogen content in the soil and sowing density. *Agricultural biology*. 2022; 1: 98–112. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.98. (In Russ.)
16. Syzdykova G. T., Sereda S. G., Malitskaya N. V. Selection of varieties of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) according to adaptability to the conditions of the steppe zone of the Akmola region of Kazakhstan: *Agricultural biology*. 2018; 1: 103–110. DOI: 10.15389/agrobiol.2018.1.103. (In Russ.)
17. Kem A. A. et al. Improvement of grain sowing methods in Western Siberia: *Grain Economy of Russia*. 2007; 1: 17–19. (In Russ.)
18. Reckling M., Hecker J.-M., Bergkvist G., Watson C., Zander P., Stoddard F., Eory V., Topp K., Maire J., Bachinger J. A cropping system assessment framework – evaluating effects of introducing legumes into crop rotations: *European Journal of Agronomy*. 2016; 76: 186–197. DOI: 10.1016/J.EJA.2015.11.005. (In Russ.)

Authors' information:

Leonid V. Yushkevich, doctor of agricultural sciences, chief researcher, head, laboratory of resource-saving agricultural technologies, Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-6203-10787, AuthorID 488080. E-mail: yushkevitchLV@yandex.ru

Denis N. Yushchenko, senior researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-7387-8055, AuthorID 1122180. E-mail: yushchenko@anc55.ru

Aleksandr G. Shchitov, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-2496-5830, AuthorID 486110. E-mail: shchitov@mail.ru

Svetlana P. Kashinskaya, research associate, Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-3567-2670, AuthorID 644012. E-mail: s.kashinskaya@anc55.ru

Физико-химические показатели гомогената трутневого расплода, адсорбированного на безлактозных адсорбентах в процессе хранения

Д. В. Митрофанов[✉], Н. В. Будникова

Федеральный научный центр пчеловодства, Рязанская обл., Рыбное, Россия

[✉]E-mail: dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Аннотация. Трутневый расплод является продуктом, проявляющим высокую биологическую активность, благодаря чему его употребление можно рекомендовать широкому кругу людей в качестве адаптогенного, актопротекторного и антиоксидантного средства. Высокая концентрация биологически активных веществ, таких как деценовые кислоты, ненасыщенные жирные кислоты, сульфгидрильные группы, сахара, гормоны и гормоноподобные соединения, делает трутневый расплод продуктом, весьма чувствительным к воздействию факторов внешней среды, что обуславливает необходимость его стабилизации. В качестве стабилизации гомогената трутневого расплода, в ряде стран, как правило, используют лактозно-глюкозный адсорбент. Актуальность работы обусловлена широким распространением среди населения лактазной недостаточности, распространенность которой у восточных славян достигает 16–18 %, а у некоторых народов Азии, Австралии и Америки превышает 80 %, что обуславливает ограничение к применению адсорбированного трутневого расплода с применением классического адсорбента, содержащего лактозу. **Цель работы** – разработать инновационный продукт на основе трутневого расплода, не содержащий лактозу в качестве адсорбента, и проследить динамику сохранения его биологически активных компонентов в процессе хранения. В качестве заменителя лактозы в адсорбенте использован картофельный крахмал. Данный продукт может быть рекомендован более широкому кругу потребителей. В работе использовались **методы** определения физико-химических показателей продуктов, такие как влажность, показатель окисляемости, водородный показатель, массовая доля деценовых кислот, массовая доля сырого протеина, свободная кислотность, кислотное число, йодное число. **Научная новизна** заключается в разработке рецептуры новых продуктов на основе трутневого расплода, не содержащих лактозы и определения среди них оптимального по технологическим и физико-химическим показателям продукта. В **результате** проведенных исследований установлено, что адсорбент, состоящий из 80 частей крахмала и 20 частей глюкозы, обеспечивает оптимальные показатели продукта при соотношении адсорбента с гомогенатом трутневого расплода 3 : 1.

Ключевые слова: лактазная недостаточность, трутневый расплод, безлактозный адсорбент, адсорбция

Для цитирования: Митрофанов Д. В., Будникова Н. В. Физико-химические показатели гомогената трутневого расплода, адсорбированного на безлактозных адсорбентах в процессе хранения // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 358–367. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-358-367>.

Дата поступления статьи: 01.09.23, **дата рецензирования:** 07.11.2023, **дата принятия:** 23.11.2023.

Physico-chemical parameters of drone brood homogenate adsorbed on lactose-free adsorbents during storage

D. V. Mitrofanov[✉], N. V. Budnikova

Federal Beekeeping Research Centre, Ryazan region, Rybnoe, Russia

[✉]E-mail: dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Abstract. Drone brood is a product that exhibits high biological activity, so its use can be recommended to a wide range of people as an adaptogenic, actoprotective and antioxidant agent. The high concentration of biologically active substances, such as decenoic acids, unsaturated fatty acids, sulfhydryl groups, sugars, hormones and hormone-like compounds makes drone brood a product very sensitive to environmental factors, which necessitates its stabilization. To stabilize drone brood homogenate, in a number of countries, a lactose-glucose adsorbent is usually used. The relevance of the work is due to the widespread prevalence of lactase deficiency among the population, the prevalence of which among the Eastern Slavs reaches 16–18 %, and among some peoples of Asia, Australia and America exceeds 80 %, which limits the use of adsorbed drone brood using a classical adsorbent containing lactose. **The purpose** of the work is to develop an innovative product based on drone brood that does not contain lactose as an adsorbent, and to trace the dynamics of the preservation of its biologically active components during storage. Potato starch was used as a lactose substitute in the adsorbent. This product can be recommended to a wider range of consumers. The work used **methods** for determining the physicochemical parameters of products, such as humidity, oxidation index, hydrogen index, mass fraction of decenoic acids, mass fraction of crude protein, free acidity, acid number, iodine number. **The scientific novelty** lies in the development of formulations for new products based on drone brood that do not contain lactose and the determination of the optimal product among them in terms of technological and physicochemical parameters. As a **result** of the studies, it was found that an adsorbent consisting of 80 parts of starch and 20 parts of glucose provides optimal product performance at a ratio of adsorbent to drone brood homogenate of 3 : 1.

Keywords: lactase deficiency, drone brood, lactose-free adsorbent, adsorption

For citation: Mitrofanov D. V., Budnikova N. V. Physico-chemical parameters of drone brood homogenate adsorbed on lactose-free adsorbents during storage. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 358–367. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-358-367>. (In Russ.)

Date of paper submission: 01.09.23, **date of review:** 07.11.2023, **date of acceptance:** 23.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Более чем в 113 странах Африки, Азии и Южной Америки насекомые традиционно входят в рацион питания человека [1, с. 146]. Проблема дефицита продовольственных товаров, особенно в развивающихся странах, может быть решена при помощи разведения и переработки съедобных насекомых [2, с. 8].

Все виды личинок пчелы медоносной пчелиных личинок (трутневые, пчелиные, маточные) представляют собой биологически активное сырье, которое может быть использовано для определенных целей. Трутневый расплод (ТР) как доступный продукт пчеловодства можно использовать в качестве продукта функционального питания благодаря большому содержанию белка, аминокислот, стероидов и полифенолов по сравнению с маточным молочком [3, с. 2].

Гомогенат трутневого расплода (ГТР) обладает высокой биологической активностью, но является весьма термолабильным продуктом пчеловодства.

Для улучшения сохранности биологически активных веществ его подвергают стабилизации. Широким распространением лактазной недостаточности обусловлена необходимость разработки безлактозного продукта на основе трутневого расплода [4, с. 134]. На стадии личинки трутневый расплод лучше всего подходит к его использованию и может быть рекомендован к использованию в апитерпии и питании. По данным Е. Sidor, М. Džugan, 11-дневная личинка трутня весит 350 мг. Это больше, чем вес маточной личинки или личинки рабочей пчелы. ТР в этом возрасте наиболее удобен в использовании [5, с. 2], так как его ткани легко поддаются переработке и его можно получать в значительных количествах без ущерба для пчелиной семьи. В то же время личинка трутня наиболее богата биологически активными веществами (БАВ) [6, с. 15]. Учеными Копенгагенского университета опубликован обзор, освещающий вопросы анализа важнейших компонентов, среди которых аминокислотный состав, включая триптофан, общий протеин по Кьельда-

лю общий азот, общее количество липидов, спектр жирных кислот, общее содержание углеводов и пищевых волокон, энергетическая ценность, минеральные вещества, антиоксидантная активность, витамины, ферментная активность [7]. В трутневом расплоде содержится 28 % моно- и 10 % полиненасыщенных жирных кислот [8, с. 6]. ТР содержит значительное количество фенольных соединений – 834,05 (мг GAE / 100 г) [9, с. 18]. Наконец, можно сделать вывод, что ТР является отличным субстратом при производстве функциональных продуктов питания или нутрицевтиков, особенно тех, которые предназначены для помощи людям, страдающим от нарушений метаболического или гормонального баланса [10, с. 9]. ТР содержит большое количество антиоксидантов [11, с. 275; 12, с. 3]. Было проведено исследование для оценки антибактериальной и антиоксидантной активности, содержания общего фенола и белка, а также количества 10-гидрокси-2-деценной кислоты (10-ГДК) в маточном молочке (ММ), ТР и маточных личинках (МЛ). При определении содержания фенольных соединений по методу Фолина – Чокальтеу максимальное содержание их отмечено в маточных личинках. Результаты определения белка по методу Бредфорда показали, что общее количество белка в ТР было выше, чем в маточном молочке, и меньше, чем в МЛ. Согласно анализу ВЭЖХ, ММ показало самые высокие количества 10-ГДК, а ТР – самые низкие. Антиоксидантная активность ТР и МЛ значительно выше, чем у ММ. ТР и МЛ – многообещающие кандидаты для разработки продуктов, которые можно использовать в качестве пищевых добавок [13, с. 1391], однако МЛ более ценны для пчелиной семьи, вот ТР можно получать без ущерба для пчелиной семьи.

В использовании ТР в лечебной практике при оксидативном стрессе, повреждениях ДНК и гистопатологических изменениях, вызванных липополисахаридными токсинами в отношении печени [14, с. 3], а также повреждение легких этими токсинами, ТР демонстрирует защитное действие. [15, с. 13]. Sidor E. et al. исследовано стимулирующее воздействие личинок трутней (ТР) на андрогенные эффекты и показатели роста козлят мужского пола (КМП). В опыте были использованы 26 козлят мужского пола (13 голов контрольной группы, 13 голов экспериментальной группы) для определения эффектов ТР через 60 дней после периода отъема. Уровни гормонов, тесты на рост, характеристики семенников и измерения тела определялись каждые 14 дней в 75-й, 90-й, 105-й, 120-й и 135-й дни исследования. Увеличение уровня тестостерона в опытной группе в течение 135 дней укрепило гипотезу о том, что ТР может иметь больший эффект в случае более длительного применения и с учетом времени созревания КМП. Липидный состав ТР определен методом ГХ/МС, где олеиновая кис-

лота (64,75 %) и пальмитиновая кислота (26,08 %) были доминирующими липидными соединениями ГТР. Кроме того, профиль фенольных/органических кислот, исследованный с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с диодно-матричным детектором (ВЭЖХ-ДМД), показал, что транс-аконитовая кислота ($11,20 \pm 0,32$ мкг/г) и фумаровая кислота ($5,03 \pm 0,41$ мкг/г) были основными соединениями в составе ТР [16, с. 7].

Известно, что мед обладает антимикробными и стабилизирующими эффектами на ГТР. Добавление трутневого расплода в мед повышало антиоксидантную активность в конечном продукте значительно (на 33–110 %), при этом незначительно влияя на физико-химические показатели (электропроводность и диастазное число) по сравнению с контрольным медом. Профиль полифенолов меда, полученный методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) с добавлением трутневого расплода, был обогащен преимущественно эллаговой и феруловой кислотами по сравнению с контрольным медом. Установлено, что стабилизация трутневого расплода медом позволяет сохранить антиоксидантные свойства в течение 6 месяцев, при этом происходит значительное снижение восстановительной способности FRAP (Ferric Reducing/Antioxidant Power) и содержания полифенолов при длительном хранении данного продукта (от 8 до 26 %). При производстве меда с ТР меньшие потери расплода наблюдались при добавлении замороженного, чем лиофилизированного гомогената ТР через 9 месяцев хранения, консервирование замороженного расплода в меде (до 5 % по массе) можно рекомендовать в качестве эффективного и недорогого метода стабилизации трутневого расплода, доступного в условиях пасеки [17, с. 45].

Насекомые, которых можно употреблять в пищу, коммерчески доступны на европейском рынке, однако в настоящее время не существует подтвержденных методов определения их состава. Чтобы проверить, применимы ли к съедобным насекомым существующие официальные аналитические процедуры, утвержденные для других пищевых матриц, было выполнено сравнение значений в четырех лабораториях. Исследования проведены на домашних сверчках (*Acheta Domesticus*), расплоде трутней медоносных пчел (*Apis mellifera*), личинках черной львинки (*Hermetia illucens*) и мучных червях (*Tenebrio molitor*). В рамках этого эксперимента данные о точности и оценку производительности по влажности, зольности, количеству сырого протеина, количеству общего жира рассчитывали методами официального сборника методов анализа и отбора проб в соответствии с Законом Германии о пищевых продуктах и кормах. Чтобы сравнить результаты с соответствующими спецификациями, z-показатели были рассчитаны с использованием

независимого целевого стандарта отклонения. После проверки они могут использоваться лабораториями в качестве стандартизированных методов и, следовательно, обеспечить основу для последовательной оценки аналитических данных относительно состава насекомых употребляемых в пищу [18, с. 8].

Лактазная недостаточность широко распространена во всем мире. Она приводит к ферментации лактозы микрофлорой кишечника, что вызывает продукцию короткоцепочечных кислот и газа. По этой причине развиваются такие симптомы, как боль в животе, метеоризм, диарея и другие [19, с. 37]. Установлено различие в распространенности лактазной недостаточности в разных регионах России, что связано с населением различных этносов, которые традиционно употребляют в пищу молоко разных видов животных и подвергают его различной кулинарной обработке [20, с. 807–808].

Так, при приготовлении кисломолочных продуктов содержание лактозы в них значительно снижается по отношению к данному показателю исходного молока. Существуют методы ферментативного освобождения молока от лактозы и методы ультрафильтрации с целью удаления моносахаридов, об-

разующихся при ферментной обработке и негативно влияющих на вкус продукта [21, с. 273]

Методология и методы исследования (Methods)

В процессе работы были проведены исследования как по собственно разработанным аналитическим методикам, так и по методикам, утвержденным нормативными документами с применением современного аналитического оборудования.

Цель работы – определить перспективные соотношения компонентов в адсорбированном продукте на основе ГТР, установить показатели качества полученного продукта и их динамику в процессе хранения.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Получить ГТР и выполнить его входной контроль.
2. Приготовить адсорбированные продукты на основе ГТР.
3. Определить показатели качества полученных продуктов.
4. Изучить динамику показателей качества в процессе хранения.
5. Установить оптимальный срок хранения новых продуктов.

Таблица 1
Изменение показателей содержания биологически активных компонентов трутневого расплода с адсорбентом, состоящим из крахмала и глюкозы (96 : 4), при хранении в течение 6 месяцев

Показатель	Свежий	6 месяцев	% от исходного
Влажность, %	17,150 ± 0,391	15,407 ± 0,527	–1,743 ± 0,137*
Показатель окисляемости, с	4,400 ± 1,501	15,533 ± 1,245	11,133 ± 2,494*
pH	6,341 ± 0,194	5,891 ± 0,253	–0,449 ± 0,065*
Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую, %	0,135 ± 0,006	0,113 ± 0,004	83,984 ± 3,810
Количественное содержание сырого протеина, %	2,167 ± 0,149	2,213 ± 0,153	102,402 ± 4,737
Свободная кислотность, мЭкв/кг	16,105 ± 2,050	18,907 ± 1,117	124,019 ± 26,004
Кислотное число, мг/г	29,808 ± 0,707	26,857 ± 2,420	90,526 ± 10,099
Йодное число, г / 100 г	3,777 ± 0,875	4,319 ± 0,267	131,912 ± 38,478

* Здесь и далее в таблицах указано изменение в абсолютных величинах, знак «–» обозначает уменьшение величины.

Table 1
Changes in the content of biologically active components of drone brood with an adsorbent consisting of starch and glucose (96 : 4) during storage for 6 months

Indicator	Fresh	6 months	% from the initial one
Humidity, %	17.150 ± 0.391	15.407 ± 0.527	–1.743 ± 0.137*
Oxidation index, s	4.400 ± 1.501	15.533 ± 1.245	11.133 ± 2.494*
pH	6.341 ± 0.194	5.891 ± 0.253	–0.449 ± 0.065*
Content of decenoic acids in terms of 10-hydroxydecenoic acid, %	0.135 ± 0.006	0.113 ± 0.004	83.984 ± 3.810
Quantitative content of crude protein, %	2.167 ± 0.149	2.213 ± 0.153	102.402 ± 4.737
Free acidity, mEq/kg	16.105 ± 2.050	18.907 ± 1.117	124.019 ± 26.004
Acid number, mg/g	29.808 ± 0.707	26.857 ± 2.420	90.526 ± 10.099
Iodine number, g / 100 g	3.777 ± 0.875	4.319 ± 0.267	131.912 ± 38.478

* Here and below in the tables the change is indicated in absolute values, the “–” sign indicates a decrease in value.

Предметом исследований выступают физико-химические и технологические показатели продуктов на основе трутневого расплода и их сохранность при хранении в условиях бытового холодильника при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

Объектом исследования являлся ГТР адсорбированный с применением безлактозного крахмально-глюкозного адсорбента с содержанием глюкозы 10, 20, 30 %.

Гомогенат трутневого расплода получали прессованием сот с расплодом и фильтрования через полиамидную ткань. Для адсорбции отвешенное количество адсорбента смешивали с гомогенатом и растирали в ступке до однородности. Полученный сырой адсорбированный полупродукт гранулировали при помощи сита и высушивали в холодильнике, затем в вакуумном шкафу при температуре не более 34°C , после чего герметично укупоривали и хранили при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

Физико-химические показатели трутневого расплода, стабилизированного путем смешивания с безлактозным адсорбентом, перечислены ниже:

- влажность – высушиванием навески продукта, взвешенной в бюксе известной массы на аналитических весах, с последующим вакуумным высушиванием до постоянной массы при температуре 60°C ;
- показатель окисляемости – путем определения времени (в секундах), которое требуется, чтобы раствор испытуемого продукта обесцветил каплю раствора марганцовокислого калия в сернокислой среде;
- водородный показатель (pH) – с использованием pH-метра (потенциометрически) с хлорсеребряным электродом в 2-процентном растворе испытуемого продукта с чувствительностью 0,01;
- массовая доля деценовых кислот – алкалиметрическим титрованием выделенной и очищенной жидкость-жидкостной экстракцией суммы деценовых кислот;
- массовая доля сырого протеина – окислением испытуемого образца перекисью водорода в сернокислом растворе с дальнейшим определением выделившегося аммиака титриметрическим методом, для чего аммиак из аликвоты раствора после минерализации отгоняется с водяным паром в раствор борной кислоты;
- свободная кислотность – титриметрически в 2-процентном растворе испытуемого продукта до pH = 8,3 с индикацией потенциометрическим методом с использованием хлорсеребряного электрода;
- кислотное число – титрованием в спиртоэфирной среде раствором едкого калия, индикатор – фенолфталеин;
- йодное число – по способности непредельных веществ испытуемого продукта связывать йод с последующим титрованием избытка йода, индикатор – крахмал.

Результаты (Results)

По результатам исследования влажность трутневого расплода с безлактозным адсорбентом, содержащим крахмал и глюкозу (96 : 4) при хранении в течение полугода упала на 1,74 %, показатель окисляемости возрос на 11,3 с, pH уменьшился на 0,449 единицы. Вещества, обладающие антиокислительным потенциалом, в том числе ненасыщенные жирные кислоты, определяются по йодному числу. Метод определения йодного числа основан на способности йода реагировать с непредельными соединениями, после чего избыток йода оттитровывается раствором тиосульфата натрия. Йодное число продемонстрировало динамику к росту и составило 131,9 % от исходного. Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую уменьшилось до 84 % от исходного, а количественное содержание сырого протеина возросло до 102,4 % от исходного, кислотное число упало до 90,5 %. Показатель свободной кислотности снизился до 89,4 % от изначального (таблица 1).

В результате хранения адсорбированного ТР на смеси крахмала и глюкозы (96 : 4) в течение года влажность продукта снизилась на 0,08 %, показатель окисляемости увеличился на 12,4 с, водородный показатель снизился на 1,18 единицы. Свободная кислотность повысилась до 162,1 %, кислотное число снизилось до 97,6 %. Йодное число увеличилось и составило 132,7 % от исходного. Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую снизилось до 83,6 % от исходного, а количественное содержание сырого протеина снизилось до 87,3 % (таблица 2).

Влажность трутневого расплода с безлактозным адсорбентом (80 : 20) в при хранении в течение 6 месяцев снизилась на 0,47 %, показатель окисляемости несколько возрос (на 1,6 с), pH понизился на 0,011 единицы. Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую изменилось незначительно, в то время как количественное содержание сырого протеина снизилось до 95,38 % от исходного. Свободная кислотность повысилась до 132,5 %, кислотное число уменьшилось до 70,01 %, йодное число достигло 127,9 % от исходного (таблица 3).

Влажность трутневого расплода с безлактозным адсорбентом (80 : 20) при хранении в течение года снизилась на 1,03 %, показатель окисляемости увеличился на 2,47 с, водородный показатель снизился на 0,136 единицы. Свободная кислотность повысилась до 133,5 % от исходного, кислотное число снизилось до 90,9 %. Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую увеличилось до 133,2 % от исходного, а количественное содержание сырого протеина снизилось до 82,9 %. Йодное число снизилось и составило 95,1 % от исходного (таблица 4).

Таблица 2

**Изменение показателей содержания биологически активных компонентов
трутневого расплода с адсорбентом, состоящим из крахмала и глюкозы (96 : 4)
при хранении в течение 1 года**

Показатель	Свежий	1 год	% от исходного
Влажность, %	17,150 ± 0,391	17,067 ± 0,417	-0,083 ± 0,032*
Показатель окисляемости, с	4,400 ± 1,501	16,800 ± 1,311	12,400 ± 2,548*
pH	6,341 ± 0,194	5,159 ± 0,275	-1,181 ± 0,082*
Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую, %	0,135 ± 0,006	0,113 ± 0,006	83,560 ± 3,665
Количественное содержание сырого протеина, %	2,167 ± 0,149	1,897 ± 0,168	87,288 ± 2,142
Свободная кислотность, мЭкв/кг	16,105 ± 2,050	25,353 ± 3,323	162,074 ± 25,637
Кислотное число, мг/г	29,808 ± 0,707	28,979 ± 1,902	97,625 ± 8,580
Йодное число, г / 100 г	3,777 ± 0,875	5,490 ± 0,319	159,895 ± 33,434

Table 2

Changes in the content of biologically active components of drone brood with an adsorbent consisting of starch and glucose (96 : 4) during storage for 1 year

Indicator	Fresh	6 months	% from the initial one
Humidity, %	17.150 ± 0.391	15.407 ± 0.527	-1.743 ± 0.137*
Oxidation index, s	4.400 ± 1.501	15.533 ± 1.245	11.133 ± 2.494*
pH	6.341 ± 0.194	5.891 ± 0.253	-0.449 ± 0.065*
Content of decenoic acids in terms of 10-hydroxydecenoic acid, %	0.135 ± 0.006	0.113 ± 0.004	83.984 ± 3.810
Quantitative content of crude protein, %	2.167 ± 0.149	2.213 ± 0.153	102.402 ± 4.737
Free acidity, mEq/kg	16.105 ± 2.050	18.907 ± 1.117	124.019 ± 26.004
Acid number, mg/g	29.808 ± 0.707	26.857 ± 2.420	90.526 ± 10.099
Iodine number, g / 100 g	3.777 ± 0.875	4.319 ± 0.267	131.912 ± 38.478

Таблица 3

**Изменение показателей содержания биологически активных компонентов
трутневого расплода с адсорбентом, состоящим из крахмала и глюкозы (80 : 20),
при хранении в течение 6 месяцев**

Показатель	Свежий	6 месяцев	% от исходного
Влажность, %	9,286 ± 0,832	8,813 ± 0,478	-0,472 ± 0,355*
Показатель окисляемости, с	6,733 ± 1,683	8,333 ± 0,240	1,600 ± 1,922*
pH	5,620 ± 0,091	5,631 ± 0,020	0,011 ± 0,072*
Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую, %	0,103 ± 0,003	0,103 ± 0,004	100,384 ± 6,566
Количественное содержание сырого протеина, %	2,280 ± 0,158	2,173 ± 0,199	95,381 ± 5,632
Свободная кислотность, мЭкв/кг	19,847 ± 0,674	26,356 ± 3,504	132,540 ± 15,981
Кислотное число, мг/г	26,161 ± 1,060	18,480 ± 6,858	70,011 ± 25,803
Йодное число, г / 100 г	3,736 ± 0,397	4,811 ± 0,687	127,934 ± 5,949

Table 3

Changes in the content of biologically active components of drone brood with an adsorbent consisting of starch and glucose (80 : 20) during storage for 6 months

Indicator	Fresh	6 months	% from the initial one
Humidity, %	9.286 ± 0.832	8.813 ± 0.478	-0.472 ± 0.355*
Oxidation index, s	6.733 ± 1.683	8.333 ± 0.240	1.600 ± 1.922*
pH	5.620 ± 0.091	5.631 ± 0.020	0.011 ± 0.072*
Content of decenoic acids in terms of 10-hydroxydecenoic acid, %	0.103 ± 0.003	0.103 ± 0.004	100.384 ± 6.566
Quantitative content of crude protein, %	2.280 ± 0.158	2.173 ± 0.199	95.381 ± 5.632
Free acidity, mEq/kg	19.847 ± 0.674	26.356 ± 3.504	132.540 ± 15.981
Acid number, mg/g	26.161 ± 1.060	18.480 ± 6.858	70.011 ± 25.803
Iodine number, g / 100 g	3.736 ± 0.397	4.811 ± 0.687	127.934 ± 5.949

Таблица 4

Изменение показателей содержания биологически активных компонентов
трутневого расплода с адсорбентом, состоящим из крахмала и глюкозы (80 : 20)
при хранении в течение 1 года

Показатель	Свежий	1 год	% от исходного
Влажность, %	9,286 ± 0,832	8,257 ± 0,443	–1,029 ± 0,439*
Показатель окисляемости, с	6,733 ± 1,683	9,200 ± 0,115	2,467 ± 1,775*
pH	5,620 ± 0,091	5,484 ± 0,029	–0,136 ± 0,066*
Содержание деценовых кислот в пересчете на 10-гидроксидеценовую, %	0,103 ± 0,003	0,138 ± 0,004	133,208 ± 2,406
Количественное содержание сырого протеина, %	2,280 ± 0,158	1,845 ± 0,184	82,895 ± 14,642
Свободная кислотность, мЭкв/кг	19,847 ± 0,674	26,533 ± 1,391	133,515 ± 2,601
Кислотное число, мг/г	26,161 ± 1,060	23,855 ± 2,188	90,902 ± 5,541
Йодное число, г / 100 г	3,736 ± 0,397	3,493 ± 0,245	95,098 ± 10,279

Table 4

Changes in the content of biologically active components of drone brood with an adsorbent consisting of starch and glucose (80 : 20) during storage for 1 year

Indicator	Fresh	1 year	% from the initial one
Humidity, %	9.286 ± 0.832	8.257 ± 0.443	–1.029 ± 0.439*
Oxidation index, s	6.733 ± 1.683	9.200 ± 0.115	2.467 ± 1.775*
pH	5.620 ± 0.091	5.484 ± 0.029	–0.136 ± 0.066*
Content of decenoic acids in terms of 10-hydroxydecenoic acid, %	0.103 ± 0.003	0.138 ± 0.004	133.208 ± 2.406
Quantitative content of crude protein, %	2.280 ± 0.158	1.845 ± 0.184	82.895 ± 14.642
Free acidity, mEq/kg	19.847 ± 0.674	26.533 ± 1.391	133.515 ± 2.601
Acid number, mg/g	26.161 ± 1.060	23.855 ± 2.188	90.902 ± 5.541
Iodine number, g / 100 g	3.736 ± 0.397	3.493 ± 0.245	95.098 ± 10.279

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Продукт с применением адсорбента, состоящего из 96 частей крахмала и 4 частей глюкозы, при соотношении адсорбента и ГТР 5 : 1 при адсорбции образует рыхлую массу, которая плохо гранулируется. Это приводит к неравномерному гранулометрическому составу продукта и, как следствие, к неравномерному высушиванию, в результате чего конечный продукт имеет высокую влажность (более 17 %). По-видимому, именно с влажностью связан интенсивный рост показателя окисляемости, который уже в первые 6 месяцев хранения достигает 15,4 с, а спустя год – 16,8 с. Такой рост показателя окисляемости характеризует снижение содержания антиоксидантов. Вместе с этим уменьшается pH продукта: за первые 6 месяцев хранения – на 0,45 единицы, а спустя 1 год – на 1,18 ед. pH. Это указывает на процессы, приводящие к накоплению кислотных продуктов. Таким образом, необходимо дальнейшее изучение как состава адсорбента, так и режима сушки.

Изучены технологические характеристики адсорбентов, содержащих 10, 20 и 30 % глюкозы (остальное – крахмал). Наиболее перспективным по технологическим качествам определен адсорбент с 20 % глюкозы. Изучено разное соотношение адсорбента и трутневого расплода. Как наиболее перспективное определено соотношение 3 : 1. При таком соотношении компонентов полупродукт образует пластичную массу, которая легко формуется в брикеты и хорошо поддается влажной грануляции с образованием однородных по размеру гранул. В последующем эти гранулы равномерно, быстро высушиваются, с чем связана практически вдвое меньшая влажность, чем у предыдущего продукта. В процессе хранения все физико-химические показатели: показатель окисляемости, водородный показатель, свободная кислотность и йодное число – изменяются незначительно, что говорит о сохранении качества продукта при его хранении в течение года.

Библиографический список

1. Mishyna M., Chen J., Benjamin O. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods – Future outlooks for enhancing consumer appeal [Электронный ресурс] // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 95. Pp. 141–148. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419302523> (дата обращения: 21.08.2023).
2. Imathiu S. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects // NFS Journal. 2020. Vol. 18. DOI: 10.1016/j.nfs.2019.11.002.
3. Sidor E. et al. Searching for differences in chemical composition and biological activity of crude drone brood and royal jelly useful for their authentication // Foods. 2021. Vol. 10, No. 9. Article number 2233. DOI: 10.3390/foods10092233.
4. Митрофанов Д. В., Будникова Н. В. Физико-химические показатели безлактозной композиции маточного молочка с трутневым расплодом в процессе хранения // Сборник научных трудов X Юбилейной международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образовании» (Конференция «ИТНО 2022»). Дивноморское, 2022. С. 134–136. DOI: 10.23947/itse.2022.134-136.
5. Sidor E., Džugan M. Drone Brood Homogenate as Natural Remedy for Treating Health Care Problem: A Scientific and Practical Approach // Molecules. 2020. Vol. 25, No 23. Article number 5699. DOI: 10.3390/molecules25235699.
6. Nedashkivskiy V. M. The influence of partial substitutes of protein feed of bees on the production of drone larvae homogenate // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences. 2020. Vol. 22, No. 92. Pp. 15–18. DOI: 10.32718/nvlvet-a9203.
7. Jensen A. B., Evans J., Jonas-Levi A. et al. Standard methods for Apis mellifera brood as human food // Journal of Apicultural Research. 2019. Vol. 58. No. 2. DOI: 10.1080/00218839.2016.1226606.
8. Prokhoda I. A., Eliseeva E. V., Katunina N. P. et al. Quality management of the apiprodukt from the drone larvae // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 274. No. 1. Article number 012132. DOI: 10.1088/1755-1315/274/1/012132.
9. Silici S. Chemical Content and Bioactive Properties of Drone Larvae (Apilarnil) [Электронный ресурс] // Mellifera. 2019. Vol. 19. No. 2. Pp. 14–22. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/905641> (дата обращения: 21.08.2023).
10. Sawczuk R. et al. Evaluation of total phenols content, anti-DPPH activity and the content of selected antioxidants in the honeybee drone brood homogenate // Food Chemistry. 2022. Vol. 368. Article number. 130745. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130745.
11. Митрофанов Д. В., Будникова Н. В., Есенкина С. Н. [и др.]. Антиоксидантные соединения в гомогенате трутневого расплода разного возраста // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2021. Т. 10. № 1. С. 273–276. DOI: 10.48612/7z9a-kgmt-dex6.
12. Mitrofanov D. V., Vakhonina E. A., Budnikova N. V. Reducing agents of drone brood products supplemented by royal jelly, propolis and chitosan derivatives // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 624. No. 1. Article number 012146. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012146.
13. Sonmez E. et al. An evaluation of the chemical composition and biological properties of Anatolian Royal Jelly, drone brood and queen bee larvae // European Food Research and Technology. 2023. Vol. 249. No. 5. Pp. 1391–1401. DOI: 10.1007/s00217-023-04221-0.
14. Schiel L. et al. Applicability of analytical methods for determining the composition of edible insects in German Food Control // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. Vol. 112. Article number 104676. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104676.
15. Doğanıyigit Z., Okan A., Kaymak E. et al. Investigation of protective effects of apilarnil against lipopolysaccharide induced liver injury in rats via TLR 4/HMGB-1/NF-κB pathway // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2020. Vol. 125. Article number 109967. DOI: 10.1016/j.biopha.2020.109967.
16. Sidor E. et al. The effect of storage time on the antioxidant activity and polyphenolic profile of frozen and lyophilized drone brood fixed in honey // Zywnosc. 2022. Vol. 29. No. 2. DOI: 10.15193/zntj/2022/131/415.
17. Doğanıyigit Z., Kaymak E., Asli O. et al. Investigation of Protective Effects of Apilarnil Against Lipopolysaccharide Induced Lung Injury in Rats [Электронный ресурс] // Mellifera. 2020. Vol. 20. No. 1. URL: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mellifera/issue/55500/758355> (дата обращения: 21.08.2023).
18. Koşum N. et al. Chemical Composition and Androgenic Effect of Bee Drone Larvae (Apilarnil) for Goat Male Kids // Chemistry & Biodiversity. 2022. Vol. 19. No. 8. Article number e202200548. DOI: 10.1002/cbdv.202200548.
19. Езерская П. А., Бирюкова Н. В. Лактазная недостаточность (обзор литературы) // Тенденции развития науки и образования. 2021. №. 74-1. С. 37–42. DOI: 10.18411/lj-06-2021-08.

20. Kovalenko E. et al. Lactase deficiency in Russia: multiethnic genetic study // *European Journal of Clinical Nutrition*. 2023. Pp. 803–810. DOI: 10.1038/s41430-023-01294-8.

21. Макарова Л. В. Лактазная недостаточность. Способы удаления лактозы из молочного сыра [Электронный ресурс] // Наука и молодежь: материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Барнаул, 2022. С. 272–274. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49943323_89697244.pdf (дата обращения: 21.08.2023).

Об авторах:

Дмитрий Викторович Митрофанов, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр пчеловодства, Рязанская обл., Рыбное, Россия; ORCID 0000-0002-9162-0584, AuthorID 871369. E-mail: dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Наталья Валентиновна Будникова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр пчеловодства, Рязанская обл., Рыбное, Россия; ORCID 0000-0001-9550-3070, AuthorID 621838. E-mail: beenataliya7@mail.ru

References

1. Mishyna M., Chen J., Benjamin O. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods – Future outlooks for enhancing consumer appeal. *Trends in Food Science & Technology* [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 21]; 95: 141–148. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419302523>.
2. Imathiu S. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*. 2020; 18. DOI: 10.1016/j.nfs.2019.11.002.
3. Sidor E. et al. Searching for differences in chemical composition and biological activity of crude drone brood and royal jelly useful for their authentication. *Foods*. 2021; 10. DOI: 10.3390/foods10092233.
4. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V. Physicochemical parameters of the lactose-free composition of royal jelly with drone brood during storage. *Collection of scientific papers of the anniversary X international scientific and practical conference "Innovative Technologies in Science and Education" ("ITSE 2022" Conference)*. Divnomorskoe, 2022. DOI: 10.23947/itse.2022.134-136. (In Russ.)
5. Sidor E., Džugan M. Drone Brood Homogenate as Natural Remedy for Treating Health Care Problem: A Scientific and Practical Approach. *Molecules*. 2020; 25. DOI: 10.3390/molecules25235699.
6. Nedashkivskiy V. M. The influence of partial substitutes of protein feed of bees on the production of drone larvae homogenate. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences*. 2020; 22. DOI: 10.32718/nvlvet-a9203.
7. Jensen A. B., Evans J., Jonas-Levi A. et al. Standard methods for Apis mellifera brood as human food. *Journal of Apicultural Research*. 2019; 58. DOI: 10.1080/00218839.2016.1226606.
8. Prokhoda I. A., Eliseeva E. V., Katunina N. P. et al. Quality management of the apiprodukt from the drone larvae. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 274. DOI: 10.1088/1755-1315/274/1/012132.
9. Silici S. Chemical Content and Bioactive Properties of Drone Larvae (Apilarnil). *Mellifera* [Internet]. 2019 [cited 2023 Aug 21]; 14–22. Available from: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mellifera/issue/51162/665760>.
10. Sawczuk R. et al. Evaluation of total phenols content, anti-DPPH activity and the content of selected antioxidants in the honeybee drone brood homogenate. *Food Chemistry*. 2022; 368. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130745.
11. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Yesenkina S. N. et al. Antioxidant compounds in the homogenate of drone brood of different ages. *Collection of Scientific Papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*. 2021; 10. DOI: 10.48612/7z9a-kgmt-dex6. (In Russ.)
12. Mitrofanov D. V., Vakhonina E. A., Budnikova N. V. Reducing agents of drone brood products supplemented by royal jelly, propolis and chitosan derivatives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 624. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012146.
13. Sonmez E. et al. An evaluation of the chemical composition and biological properties of Anatolian Royal Jelly, drone brood and queen bee larvae *European Food Research and Technology*. [Internet] 2023 [cited 2023 Aug 21]; 249. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-023-04221-0>.
14. Schiel L. et al. Applicability of analytical methods for determining the composition of edible insects in German Food Control. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 112. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104676.
15. Doğanıyigit Z., Okan A., Kaymak E. et al. Investigation of protective effects of apilarnil against lipopoly-saccharide induced liver injury in rats via TLR 4/HMGB-1/NF-κB pathway. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2020; 125 DOI: 10.1016/j.biopha.2020.109967.
16. Sidor E. et al. The effect of storage time on the antioxidant activity and polyphenolic profile of frozen and lyophilized drone brood fixed in honey. *Zywnosc*. 2022; 29. DOI: 10.15193/zntj/2022/131/415.

17. Doğanyigit Z., Kaymak E., Asli O. et al. Investigation of Protective Effects of Apilarnil Against Lipopolysaccharide Induced Lung Injury in Rats. *Mellifera* [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 21]; 20: 3–15. Available from: <https://dergipark.org.tr/en/pub/mellifera/issue/55500/758355>.
18. Koşum N. et al. Chemical Composition and Androgenic Effect of Bee Drone Larvae (Apilarnil) for Goat Male Kids. *Chemistry & Biodiversity*. 2022; 19. DOI: 10.1002/cbdv.202200548.
19. Ezerskaya P. A., Biryukova N. V. Lactase deficiency (literature review). Trends in the Development of Science and Education. 2021; DOI: 10.18411/lj-06-2021-08. (In Russ.)
20. Kovalenko E. et al. Lactase deficiency in Russia: multiethnic genetic study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2023. DOI: 10.1038/s41430-023-01294-8.
21. Makarova L. V. Lactase deficiency. Methods for removing lactose from raw milk. *Science and youth: materials of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists*. Barnaul, 2022. Vol. 1. Pp. 272–274. (In Russian.)

Authors' information:

Dmitriy V. Mitrofanov, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Federal Beekeeping Research Centre, Ryazan region, Rybnoe, Russia; ORCID 0000-0002-9162-0584, AuthorID 871369.

E-mail: dima-mitrofanoff2012@yandex.ru

Natalya V. Budnikova, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Federal Beekeeping Research Centre, Ryazan region, Rybnoe, Russia; ORCID 0000-0001-9550-3070, AuthorID 621838.

E-mail: beenataliya7@mail.ru

Хемилюминесцентные характеристики периферической крови при облучении *in vitro* в диапазоне доз 100–500 мГр

А. С. Федотова^{1✉}, Г. В. Макарская²

¹ Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

² Международный научный центр исследований экстремальных состояний организма Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия

✉ E-mail: krasfas@mail.ru

Аннотация. В настоящее время определению радиобиологических эффектов при воздействии малых доз ионизирующего излучения посвящено много исследований. Известно, что ионизирующее излучение в клетках организма увеличивает генерацию активных форм кислорода (АФК). **Цель работы** – определить основные параметры хемилюминесцентной кинетики АФК в периферической крови при облучении *in vitro* в дозах от 100 до 500 мГр. Исследование расширит представление о степени воздействия малых доз ионизирующего излучения на ткани организма сельскохозяйственных животных. **Научная новизна.** Результаты исследования позволят прогнозировать радиобиологические эффекты малых доз в многоклеточном организме. Исследования входят в практические и фундаментальные направления радиобиологии. **Методы исследования.** Облучение *in vitro* образцов крови проведено в диапазоне доз 100–500 мГр, кинетика генерации АФК регистрировалась на 36-канальном хемилюминометре 3604-ПЭВМ. **Результаты исследования.** Дозы в диапазоне от 100 до 300 мГр ускоряли время формирования первого пика спонтанной и активированной генерации радикалов, при дозе в 500 мГр замедлялось формирование первого пика спонтанной и активированной генерации первичных АФК. При действии малых поглощенных доз снижалась максимальная интенсивность генерации первичных и вторичных радикалов. Ингибирование спонтанной продукции первичных радикалов происходило при дозах 100–300 мГр, антигенактивированной генерации первичных АФК при дозе 400 мГр. Уменьшение количества спонтанных вторичных АФК при дозе 100 мГр, снижение продукции антигенактивированных вторичных радикалов при дозах 100–300 мГр. Доза в 500 мГр ингибировала реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов. Внешнее гамма-облучение *in vitro* в диапазоне 100–500 мГр негативно действовало на клетки периферической крови, это выражалось в ускорении хемилюминесцентной реакции, снижении максимальной интенсивности первого пика спонтанной и антигенактивированной продукции первичных и вторичных радикалов и, как следствие, выявлении снижения количества продукции первичных и вторичных радикалов.

Ключевые слова: поглощенная доза, ионизирующее излучение, *in vitro*, активные формы кислорода, люцигенин, люминол, хемилюминесценция

Для цитирования: Федотова А. С., Макарская Г. В. Хемилюминесцентные характеристики периферической крови коров при воздействии *in vitro* ионизирующего излучения в диапазоне доз 100–500 мГр // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 368–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-368-380>.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 23-26-10018, Красноярского краевого фонда науки «Прогнозирование реакции сельскохозяйственных животных на низкоинтенсивную радиацию и применение радиопротекторов. Экспрессный биолуминесцентный скрининг радиобиологических эффектов».

Дата поступления статьи: 22.08.23, **дата рецензирования:** 12.10.2023, **дата принятия:** 21.11.2023.

Chemiluminescent characteristics of peripheral blood under in vitro irradiation in the dose range of 100–500 mGy

A. S. Fedotova¹✉, G. V. Makarskaya²

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

² International Scientific Center for Research of Extreme Conditions of the Organism of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk, Russia

✉ E-mail: krasfas@mail.ru

Abstract. Nowadays a lot of examinations are dedicated to determination of radiobiological effects under low doses of ionising radiation. It is known that ionising radiation in the cells of an organism increases generation of reactive oxygen species (ROS). **The purpose** of the work is to determine basic parameters of chemiluminescent kinetics of ROS in peripheral blood under in vitro radiation in the range of 100–500 mGy doses. The research will extend the knowledge of the impact degree of ionising radiation in low doses on organism tissue of farm animals. **Scientific novelty** is that the results of the research will allow to predict radiobiological effects of low doses in a multicellular organism. The research is included in practical and fundamental directions of radiobiology. **Research methods.** In vitro radiation of blood samples in the range of 100–500 mGy doses. The kinetics of generation of ROS is registered on 36-channel chemiluminometer 3604-PC. **Results.** The doses in the range of 100–300 mGy accelerated the time of the first peak of spontaneous and activated generation of radicals, under 500 mGy dose the formation of the first peak of spontaneous and activated generation of primary ROS decelerated. Under the impact of low absorbed doses maximum intensity of primary and secondary radicals generation decreased. The inhibition of primary radicals spontaneous production occurred under 100–300 mGy doses, the inhibition of antigen activated generation of primary ROS was under 400 mGy. The reduction of the amount of spontaneous secondary ROS was registered under 100 mGy dose. The decrease of antigen activated secondary radicals production occurred under 100–300 mGy doses. 500 mGy dose inhibited a reaction ability of blood cells to generate primary radicals. The external in vitro gamma radiation in the range of 100–500 mGy had a negative impact on peripheral blood cells showing an acceleration of chemiluminescent reaction as well as decrease of maximum intensity of the first peak of spontaneous and antigen activated primary and secondary radicals production. As a consequence, a decrease of the amount of primary and secondary radicals production was revealed.

Keywords: absorbed dose, ionising radiation, in vitro, reactive oxygen species (ROS), lucigenin, luminol, chemiluminescence

For citation: Fedotova A. S., Makarskaya G. V. Chemiluminescent characteristics of peripheral blood under in vitro irradiation in the dose range of 100–500 mGy. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 368–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-368-380>. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 23-26-10018, Krasnoyarsk Regional Science Foundation “Predicting the response of farm animals to low-intensity radiation and the use of radioprotectors. Rapid bioluminescence screening of radiobiological effects.”

Date of paper submission: 22.08.23, **date of review:** 12.10.2023, **date of acceptance:** 21.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Оценка действия малых доз радиации на многоклеточный организм настоящее время привлекает внимание радиобиологов. Этой проблеме посвящено множество научных работ. А. М. Кузиным в 1977 году издана монография «Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы». В 1980 году Т. Д. Лючки вводит термин «радиационный гормезис», суть которого заключа-

ется в потенцировании организма малыми дозами радиации и появление положительного эффекта в тканях и органах организма.

С 1940 года существует линейная беспороговая теория (LNT) воздействия радиации на многоклеточный организм. Согласно теории, не существует нижнего порога значения дозы, который определяет возникновение стохастических эффектов. Теория предполагает линейную зависимость между дозой

и стохастическим риском для здоровья, ионизирующее излучение потенциально может причинить вред при любом значении дозы, сумма доз облучений с одинаковой вероятностью вызовет стохастический эффект в организме, как и однократное воздействие в дозе, равной сумме малых доз.

К. Басби в 1995 году в книге «Крылья смерти: ядерное загрязнение и загрязнение окружающей среды» предлагает теорию «второго события» (SET), согласно которой линейная беспороговая теория преуменьшает риск малых доз. Воздействие ионизирующего излучения в значениях, превышающих естественный радиационный фон, вызывает больше случаев рака, чем облучение в клинических дозах, то есть существует двухфазная (бимодальная) кривая, утверждение было основано на работе российского биолога Е. Б. Бурлаковой. Согласно теории «второго события», изотопы в организме при распаде формируют более сильный генотоксический эффект, чем прогнозирует линейная беспороговая теория.

А. В. Яблоков в 2002 году издает брошюру «Миф о безопасности малых доз радиации», в которой приводит большой фактический материал, свидетельствующий о негативном действии малых доз ионизирующего излучения на состояние тканей, органов и основных систем организма. По мнению автора, любое дополнительное к значению природного фона антропогенное излучение является опасным и оказывает негативное воздействие на организм и потомство. Автор приводит примеры воздействия малых доз внешнего и внутреннего облучения организма человека начиная с дозы 1 мГр, причем величина аппроксимирующей минимальной дозы, по мнению автора, составляет 0,05 мГр. Достаточно много работ по оценке генетических изменений в клетке растений, животных и человека при радиационном облучении. По мнению ученых, к основным негативным изменениям относятся увеличение числа хромосомных aberrаций, изменение ДНК клетки. Малые дозы влияют на течение беременности и уменьшают плодовитость животных, увеличивают эмбриональную смертность и уродства плода.

Особенности биологического воздействия малых доз ионизирующего излучения на организм животных и человека оценены в работах института биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН. Установлено что малые дозы радиации изменяют метаболизм организма, в известных диапазонах доз низкоинтенсивное излучение гораздо эффективнее, чем острое. Корреляционная зависимость между степенью радиобиологического эффекта и значением поглощенной дозы может носить нелинейный, многомодальный, немонотонный характер. Выявлено, что значение поглощенных доз, при которых определяются экстремумы, формируется мощно-

стью облучения и снижается при ее уменьшении, воздействие малых доз потенцирует изменение (чаще всего увеличение) чувствительности клеток и тканей к действию повреждающих факторов.

Исследования ученых показали, что воздействие радиации в малых дозах вызывает структурные изменения в клетках, что изменяет их функциональную активность. При дозе 10 мГр в организме белых мышей были выявлено изменение биохимических процессов, при дозе 1 мГр регистрировали уменьшение на 30 % активности фермента тимидкиназы. При дозе 16 мГр регистрировалось изменение липидного обмена, что увеличивало число продуктов перекисного окисления липидов.

Радиационному гормезису посвящено множество работ [1–3]. С. Devic с соавторами оценил влияние индивидуальной радиочувствительности на явление адаптивной реакции [4]. Ю. П. Чукова в работе приводит историческую справку развития теории радиационного гормезиса и рассматривает явления, создаваемые клетке при ионизирующем облучении в малых дозах. По мнению автора, U-образная реакция системы не относится к исключительно радиационному воздействию, такое поведение системы определяется возникновением свободной энергии в клетке, под воздействием поглощенной дозы формируются различные эффекты, при увеличении дозы радиации генерация энтропии увеличивается. Процесс увеличения свободной энергии является изотермическим эндоэргическим, в результате увеличивается температура в системе, что потенцирует зарождение теплового процесса. В итоге в клетке происходит переход изотермического эндоэргического процесса в тепловой. Таким образом, ветви U-образного ответа клетки на воздействие определяются окончанием эндоэргического процесса (ниспадающая ветвь) и зарождением тепловых процессов (восходящая ветвь) [5].

S. V. Jargin эффект гормезиса объяснял эволюционной адаптацией к существующему на данный момент значению дозы ионизирующего излучения как к некоторому среднему значению из прошлого. Значение дозы естественной радиации за время существования жизни на Земле снижается. Процессы повреждения и репарации ДНК в клетках существуют в динамическом балансе. Процесс восстановления ДНК предполагает, что клетки организма обладают резервными возможностями репарации от более высоких уровней радиации, чем значение дозы, действующей в настоящее время. Согласно этой концепции, повреждение клеток организма при действии малых доз ионизирующего излучения будет стремиться к нулю при значении доз, стремящихся к широкому диапазону уровня естественного радиационного фона [6]. Y. Shibamoto с соавторами в обзоре биологических, эпидемиологических и клинических данных о радиационном гормезисе

заключили, что в связи с увеличением количества исследований по оценке малых доз ионизирующего излучения на многоклеточный организм скоро будет сформировано заключение о пагубности или пользе малых доз ионизирующего излучения, о жизнеспособности беспороговой линейной теории (LNT). Биологические исследования в настоящее время предполагают индукцию биоположительных реакций организма (стимуляция иммунитета, увеличение антиоксидантов в тканях) при облучении в малых дозах [7]. В оценке степени влияния малых доз ионизирующего излучения необходимы экспериментальные исследования по определению значений поглощенных доз, изменяющих функциональную активность клетки.

Многими авторами в публикациях отмечено, что процессы продукции активных форм кислорода (АФК) клетками организма являются восприимчивыми к воздействию больших и незначительных доз радиации [8–11]. Я. И. Серкиз впервые применил хемилюминесцентный метод для оценки физиологического состояния животных после облучения. Автор определил количество образованных свободных радикалов в крови животных при острой лучевой болезни. Существуют работы по оценке хемилюминесцентной реакции крови лабораторных мышей при воздействии рентгеновского излучения в дозе 0,1 Гр, в работе установлено увеличение вторичных радикалов через 0,5 ч после облучения [12]. D. Eckert с соавторами установили, что гамма-облучение *in vitro* в дозах 100–500 мГр индуцирует экспрессию антиоксидантных ферментов, что уменьшает содержание АФК в эндотелиальных клетках [13].

В научной литературе существует ограниченное количество работ, посвященных оценке радиологических эффектов при облучении *in vitro*. N. Shimura, S. Kojima в статье приводили данные о чувствительности клеток крови человека при внешнем гамма-облучении *in vitro* в дозе с 1 мГр. По их мнению, поглощенная доза в 100–500 мГр является наименьшей для изменений уровней биомаркеров [14]. М. Н. Стародубцева с соавторами при облучении *in vitro* рентгеновским излучением в дозах 500–200 000 мГр цельной крови крыс оценили корреляцию между значениями редокс-состояния плазмы крови и структурными свойствами поверхности красных кровяных клеток. В дозах 500–1000 мГр главным образом определяются механизмы редокс-регуляции, в интервале доз 100 000–200 000 мГр присутствуют процессы стимуляции окислительных процессов. Авторами предложено редокс-состояния плазмы, АСМ-параметры поверхности эритроцитов применять как биоиндикаторы радиационно-индуцированных изменений крови при воздействии радиации [15].

Очевидно, процессы образования и утилизации АФК иммунокомпетентными клетками, непосредственно связанные с активностью про- и антиоксидантных ферментов и играющие важную роль в обеспечении неспецифической резистентности организма, также претерпевают изменения. Их следствием могут быть снижение естественной резистентности организма, возникновение аутоиммунных реакций. Кинетика процесса образования первичных и вторичных радикалов кислорода клетками в ответ на воздействие антигена в условиях *in vitro*, определяемая хемилюминесцентным методом в нативной крови, показывает интенсивность каскадно запускающихся про- и антиоксидантных ферментов клеточных мембран фагоцитирующих клеток. Кинетика генерации АФК выражает совокупность про- и антиоксидантных факторов периферической крови животных при воздействии антигена [16].

Е. В. Агаева с соавторами оценили продукцию макрофагами АФК и цитокинов при внешнем гамма-облучении *in vitro* в дозах от 50 мГр до 500 мГр и от 1000 мГр до 10 000 мГр костно-мозговых клеток. Установлено, что при воздействии гамма-излучения происходит ингибирование продукции АФК, в мезинхимальных костно-мозговых клетках при дозе 50–100 мГр регистрировался стимулирующий эффект, при дозе 1000 мГр наблюдалось угнетение функциональной активности макрофагов. Авторами предположено, что воздействие малых доз гамма-излучения может быть одним из подходов прекондиционирования иммуномодулирующей и пролиферативной активности мезинхимальных костно-мозговых клеток [17].

М. С. Абрамовой с соавторами установлено, что уровень АФК в культуре фибробластов облученных *in vitro* в дозах 30 мГр, 100 мГр, 500 мГр и 1000 мГр возрастал пропорционально поглощенной дозе [18].

В связи с ограниченным количеством публикаций, раскрывающих механизмы воздействия малых доз ионизирующего излучения, имеются сложности с прогнозированием радиобиологических эффектов, возникающих в клетках, тканях и в организме в целом. Исследование влияния малых доз ионизирующего излучения на организм животных необходимо для прогнозирования негативных последствий радиации и применения положительных результатов облучения. Определение значений поглощенных доз, вызывающих в организме сельскохозяйственных животных формирование радиобиологические эффектов, относится к перспективным фундаментальным направлением ветеринарной радиобиологии.

Цель исследования – оценить основные параметры хемилюминесцентной кинетики продукции первичных и вторичных радикалов в образцах крови при внешнем облучении проб *in vitro* в диапазоне доз 100–500 мГр.

Таблица 1

Время достижения пиков генерации первичных АФК при облучении крови коров *in vitro*

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$T_{\max}$ (I), мин.	$T_{\max}$ (II), мин.	$T_{\max}$ (I), мин.	$T_{\max}$ (II), мин.
Контроль ($n = 42$)	31,68 ± 3,9	138,65 ± 4,0	31,75 ± 3,9	138,10 ± 3,2
100 ($n = 7$)	17,50 ± 0,5**	137,00 ± 2,0	15,50 ± 0,5***	120,50 ± 5,5
200 ($n = 7$)	20,00 ± 0,5**	144,00 ± 3,9	17,75 ± 0,8**	147,50 ± 5,3
300 ($n = 7$)	17,25 ± 0,9***	148,25 ± 16,2	17,25 ± 1,4**	165,50 ± 6,1
400 ($n = 7$)	16,60 ± 1,1***	146,17 ± 6,8	51,50 ± 14,9	156,67 ± 9,7
500 ($n = 7$)	60,40 ± 10,8*	141,38 ± 8,1	56,57 ± 11,0*	151,00 ± 5,6

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Table 1

Time to reach the peaks of generation of primary ROS during irradiation of the blood of cows *in vitro*

Absorbed dose, mGy	Spontaneous generation		Activated generation	
	$T_{\max}$ (I), minutes	$T_{\max}$ (II), minutes	$T_{\max}$ (I), minutes	$T_{\max}$ (II), minutes
Control ($n = 42$)	31.68 ± 3.9	138.65 ± 4.0	31.75 ± 3.9	138.10 ± 3.2
100 ($n = 7$)	17.50 ± 0.5**	137.00 ± 2.0	15.50 ± 0.5***	120.50 ± 5.5
200 ($n = 7$)	20.00 ± 0.5**	144.00 ± 3.9	17.75 ± 0.8**	147.50 ± 5.3
300 ($n = 7$)	17.25 ± 0.9***	148.25 ± 16.2	17.25 ± 1.4**	165.50 ± 6.1
400 ($n = 7$)	16.60 ± 1.1***	146.17 ± 6.8	51.50 ± 14.9	156.67 ± 9.7
500 ($n = 7$)	60.40 ± 10.8*	141.38 ± 8.1	56.57 ± 11.0*	151.00 ± 5.6

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ compared to control.

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

1) отбор образцов крови у крупного рогатого скота (лактующие коровы, средний возраст $57,6 \pm 3,55$ мес.) в ферменных биогеоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр/год (значение поглощенной дозы принадлежит диапазону данных, отражающих глобальное техногенное загрязнение территории Красноярского края);

2) внешнее гамма-облучение *in vitro* проб крови в дозах 100 мГр, 200 мГр, 300 мГр, 400 мГр и 500 мГр;

3) определение основных параметров хемилюминесцентной кинетики продукции первичных и вторичных радикалов: амплитуда максимальной активности ($I_{\max}$, имп/с); время достижения максимума ($T_{\max}$, мин.); светосумма АФК (S , имп. за 180 мин.); индекс активации (ИА = $S_{\text{акт}}/S_{\text{спонт}}$, усл. ед.).

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена в 2020–2022 гг. на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства, физиологии сельскохозяйственных животных Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и научно-исследовательского испытательного центра Красноярского ГАУ. Облучение *in vitro* образцов венозной крови крупного рогатого скота в дозах 100, 200, 300, 400 и 500 мГр проведено на установке, укомплектованной источником Cs-137. Всего исследовано 77 проб крови, 42 пробы служили контролем и не подвергались облучению. Отбор проб периферической крови коров проводили из хвостовой вены в вакуумные пробирки с активатором свертываемости. Кинетика спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов (АФК) регистрировалась хеми-

люминесцентным методом на хемилюминометре 3604-ПЭВМ.

Хемилюминесцентный анализ основан на реакции АФК со специфическими маркерами (усилителями хемилюминесценции) первичных (люцигенин) и вторичных (люминол) радикалов. Для хемилюминесцентной реакции использовали 100 мкл стабилизированной венозной крови, разведенной в 2 раза раствором Хенкса, 200 мкл хемилюминесцентного зонда, 50 мкл суспензии частиц латекса (для активации *in vitro*) или раствора Хенкса (спонтанная хемилюминесценция). Для усиления хемилюминесценции в качестве хемилюминесцентных зондов применены 0,1 ммоль/л раствор люцигенина (Sigma-Aldrich, Switzelend) и 0,22 ммоль/л люминола (Sigma, USA), обладающих избирательностью в отношении первичных (супероксиданион) и вторичных (гидроксил, гипохлорит, перекись водорода) радикалов кислорода соответственно [19]. Время записи хемилюминесцентной кривой – 180 мин., температура в регистрационной камере +38 °С (средняя температура тела крупного рогатого скота). Исследования выполнены в секторе иммунологии международного научного центра исследований экстремальных состояний организма ФИЦ КНЦ СО РАН (г. Красноярск).

Результаты (Results)

Для сельскохозяйственных животных в ферменных биогеоценозах Красноярского края ранее автором установлены дозовые нагрузки. В биогеоценозах, имеющих только глобальное техногенное загрязнение, дозовая нагрузка для крупного рогатого скота составляла 0,92 мГр/год [20]. В ферменных биогеоценозах лактирующие коровы соматически здоровы, спокойны, аппетит умеренный, кожный

покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, поверхностные лимфатические узлы (подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные) не увеличены, подвижны и безболезненны. Слизистые оболочки ротовой полости часто пигментированы, розового цвета. Жвачка присутствовала, сокращение рубца $2,87 \pm 0,83$ раза за 2 мин. Температура тела находилась в пределах физиологической нормы и в среднем составила $38,34 \pm 0,76$ °C. Частота сердечных сокращений достигала $77 \pm 8,9$ ударов в минуту, частота дыхания – $17,6 \pm 6,5$ мин. Коровы имели упитанность 3,5–3,75 ед. по Э. Уайлдману. В соответствии с ГОСТ Р 54315-2011 животные относились к первой категории упитанности.

Хемилюминесцентная кинетика образования АФК при облучении проб крови коров в диапазоне доз 100–500 мГр *in vitro* имела два максимума и отличалась значением основных параметров хемилюминесцентной реакции при различной дозовой нагрузке.

Время достижения максимума хемилюминесценции ($T_{\max}$ (I), $T_{\max}$ (II), мин.) продукции первичных (люцигенинзависимых) свободных радикалов в пробах периферической крови при облучении *in vitro* в диапазоне малых доз и пробах крови животных, имеющих фоновую дозовую нагрузку (0,92 мГр/год), – контрольная группа, достоверно отличалось (таблица 1)

Внешнее облучение *in vitro* образцов крови в дозах 100–400 мГр достоверно ускоряло формирование первого пика спонтанной генерации первичных радикалов, тогда как при дозе 500 мГр выявлена задержка. $T_{\max}$ (I) формировался быстрее при воздействии дозы в 100 мГр на 14,2 мин., при дозе

200 мГр – на 11,7 мин. относительно данных контроля ($P < 0,01$). Первый пик спонтанной генерации первичных радикалов в периферической крови образовывался скорее при облучении в дозе 300 мГр на 14,4 мин., а при дозе 400 мГр – на 15,1 мин. по сравнению с контрольными значениями ($P < 0,001$). Установлено что при влиянии дозы в 500 мГр на пробы крови первый пик хемилюминесцентной реакции был образован на 28,72 мин. позже, чем в контрольных образцах ($P < 0,05$). Время формирования второго пика спонтанной генерации первичных радикалов не изменялось при облучении и в среднем приходилось на $142,4 \pm 4,7$ мин., что соответствовало статистическому диапазону изменчивости контрольных величин $138,65 \pm 4,01$ мин.

При активации клеток частицами латекса в присутствии люцигенина так же, как и при спонтанной генерации $T_{\max}$ (I) формировался быстрее при дозах 100–300 мГр, тогда как при дозе 500 мГр наблюдалось замедление этого процесса. $T_{\max}$ (I) активированной генерации формировался скорее при дозе 100 мГр на 16,3 мин. ($P < 0,001$), при дозе 200 мГр – на 14 мин, 300 мГр – на 14,5 мин. ($P < 0,01$) быстрее относительно данных контроля. При дозе 500 мГр замедлялось формирование первого пика антиген-активированной хемилюминесцентной продукции первичных радикалов на 24,82 мин., или в 1,8 раза относительно контрольных значений ($P < 0,05$), аналогичная ситуация установлена в реакции спонтанной генерации люцигенинзависимых радикалов. Время формирования второго пика антиген-активированной генерации первичных АФК при внешнем гамма-облучении не изменялось, приходилось в среднем на $152,18 \pm 6,6$ мин., в пробах контроля – на $138,65 \pm 4,01$ мин.

Таблица 2
Время достижения пиков генерации вторичных АФК при облучении крови коров *in vitro*

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$T_{\max}$ (I), мин.	$T_{\max}$ (II), мин.	$T_{\max}$ (I), мин.	$T_{\max}$ (II), мин.
Контроль ($n = 42$)	$24,64 \pm 2,8$	$148,28 \pm 2,9$	$31,18 \pm 3,8$	$117,92 \pm 2,7$
100 ($n = 7$)	$12,00 \pm 1,0^{***}$	$155,50 \pm 13,4$	$15,50 \pm 1,5^{***}$	$106,50 \pm 10,5$
200 ($n = 7$)	$16,67 \pm 2,3^*$	$134,74 \pm 4,4$	$17,75 \pm 0,8^{**}$	$147,50 \pm 5,3$
300 ($n = 7$)	$12,33 \pm 2,3^{***}$	$146,75 \pm 9,3$	$19,00 \pm 0,8^{**}$	$126,75 \pm 4,9$
400 ($n = 7$)	$19,20 \pm 1,9$	$153,33 \pm 5,4$	$18,60 \pm 0,5$	$121,00 \pm 9,3$
500 ($n = 7$)	$31,00 \pm 4,7$	$151,57 \pm 4,5$	$41,63 \pm 10,6$	$112,50 \pm 6,7$

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Table 2
Time to reach the peaks of generation of secondary ROS during irradiation of the blood of cows *in vitro*

Absorbed dose, mGy	Spontaneous generation		Activated generation	
	$T_{\max}$ (I), minutes	$T_{\max}$ (II), minutes	$T_{\max}$ (I), minutes	$T_{\max}$ (II), minutes
Control ($n = 42$)	24.64 ± 2.8	148.28 ± 2.9	31.18 ± 3.8	117.92 ± 2.7
100 ($n = 7$)	$12.00 \pm 1.0^{***}$	155.50 ± 13.4	$15.50 \pm 1.5^{***}$	106.50 ± 10.5
200 ($n = 7$)	$16.67 \pm 2.3^*$	134.74 ± 4.4	$17.75 \pm 0.8^{**}$	147.50 ± 5.3
300 ($n = 7$)	$12.33 \pm 2.3^{***}$	146.75 ± 9.3	$19.00 \pm 0.8^{**}$	126.75 ± 4.9
400 ($n = 7$)	19.20 ± 1.9	153.33 ± 5.4	18.60 ± 0.5	121.00 ± 9.3
500 ($n = 7$)	31.00 ± 4.7	151.57 ± 4.5	41.63 ± 10.6	112.50 ± 6.7

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ compared to control.

Таблица 3

Максимальная интенсивность продукции первичных АФК при облучении *in vitro* крови коров

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$I_{\max}$ (I), мин.	$I_{\max}$ (II), мин.	$I_{\max}$ (I), мин.	$I_{\max}$ (II), мин.
Контроль ($n = 42$)	553,75 ± 62,3	445,00 ± 65,0	756,35 ± 90,0	673,45 ± 67,4
100 ($n = 7$)	513,50 ± 18,5	106,00 ± 31,0***	757,50 ± 74,5	517,00 ± 52,0
200 ($n = 7$)	315,33 ± 191,0	211,67 ± 82,4*	430,75 ± 76,5**	387,50 ± 84,3*
300 ($n = 7$)	229,25 ± 60,5***	379,00 ± 42,0	254,75 ± 37,3***	254,57 ± 56,7***
400 ($n = 7$)	449,00 ± 105,6	393,80 ± 79,3	246,00 ± 49,8***	403,17 ± 51,9**
500 ($n = 7$)	361,63 ± 59,5*	521,13 ± 78,9	420,29 ± 80,4**	436,43 ± 37,7**

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Table 3

Maximum intensity of production of primary ROS during *in vitro* irradiation of the blood of cows

Absorbed dose, mGy	Spontaneous generation		Activated generation	
	$I_{\max}$ (I), imp/s	$I_{\max}$ (II), imp/s	$I_{\max}$ (I), imp/s	$I_{\max}$ (II), imp/s
Control ($n = 42$)	553.75 ± 62.3	445.00 ± 65.0	756.35 ± 90.0	673.45 ± 67.4
100 ($n = 7$)	513.50 ± 18.5	106.00 ± 31.0***	757.50 ± 74.5	517.00 ± 52.0
200 ($n = 7$)	315.33 ± 191.0	211.67 ± 82.4*	430.75 ± 76.5**	387.50 ± 84.3*
300 ($n = 7$)	229.25 ± 60.5***	379.00 ± 42.0	254.75 ± 37.3***	254.57 ± 56.7***
400 ($n = 7$)	449.00 ± 105.6	393.80 ± 79.3	246.00 ± 49.8***	403.17 ± 51.9**
500 ($n = 7$)	361.63 ± 59.5*	521.13 ± 78.9	420.29 ± 80.4**	436.43 ± 37.7**

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ compared to control.

Время образования пиков ($T_{\max}$ (I), $T_{\max}$ (II)) вторичных (люминолзависимых) АФК при внешнем гамма-облучении *in vitro* в диапазоне малых доз от значений контроля достоверно отличалось (таблица 2). Облучение *in vitro* образцов крови коров в диапазоне доз 100–300 мГр достоверно ускоряло время формирования первого пика спонтанной генерации вторичных радикалов. Первый пик спонтанной хемилюминесцентной реакции вторичных радикалов при облучении проб крови в дозе 100 мГр приходился на 12,6 мин. ($P < 0,001$), при облучении в дозе 200 мГр ускорение составило 7,97 мин. ($P < 0,05$), при дозе 300 мГр – 12,3 мин. ($P < 0,001$) относительно данных контроля (24,64 мин.). При воздействии дозы в 500 мГр выявлена тенденция к замедлению времени формирования первого пика спонтанной продукции вторичных радикалов. Облучение не влияло на показатели $T_{\max}$ (II), время формирования второго пика спонтанной генерации вторичных АФК располагалось в одном диапазоне изменчивости и не отличалось при дозовой нагрузке.

При активации клеток периферической крови антигеном (частицы латекса) в присутствии люминола при дозах 100–300 мГр формирование первого пика происходило достоверно быстрее, чем в пробах контроля. Для образования $T_{\max}$ (I) хемилюминесцентной реакции люминолзависимых АФК при дозе 100 мГр требовалось на 15,7 мин. меньше ($P < 0,001$), при облучении в дозе 200 мГр – на 13,4 мин. ($P < 0,01$) и при поглощенной дозе 300 мГр – на 12,2 мин. ($P < 0,01$) по сравнению с контрольными данными. При дозе 500 мГр установлена тенденция к замедлению времени формирования первого пика антиген-активированной про-

дукции вторичных радикалов. Облучение не влияло на показатели времени достижения максимума формирования второго пика генерации вторичных радикалов.

Максимальная интенсивность хемилюминесценции ($I_{\max}$ (I), $I_{\max}$ (II), имп/с) образования первичных АФК при внешнем гамма-облучении образцов крови в дозах 100–500 мГр снижалась. Определено уменьшение $I_{\max}$ (I) при воздействии дозы 300 мГр на 58,6 % ($P < 0,001$), при поглощенной дозе 500 мГр на 34,7 % ($P < 0,05$) по сравнению с данными контроля (таблица 3). При внешнем облучении в дозе 100 мГр выявлено снижение интенсивности пика $I_{\max}$ (II) при спонтанной генерации на 76,2 %, ($P < 0,001$), при дозе 200 мГр – на 52,4 % ($P < 0,05$), относительно данных контроля.

Пики максимальной активности при антиген-активированной генерации первичных радикалов при дозе 200 мГр снижались: $I_{\max}$ (I) – на 43 % ($P < 0,01$), $I_{\max}$ (II) – на 42,5 % ($P < 0,05$) относительно данных контроля. Облучение проб крови в дозе 300 мГр уменьшало максимальную интенсивность первого максимума на 66 %, второго максимума – на 62,2 % по сравнению с данными контроля. При облучении проб в дозе 400 мГр снижалось $I_{\max}$ (I) на 67,5 % ($P < 0,001$), $I_{\max}$ (II) – на 40,1 % ($P < 0,01$) в сравнении со значениями контрольных проб. Воздействие ионизирующего излучения в дозе 500 мГр вызвало минимальное снижение максимальной интенсивности хемилюминесцентной реакции, значение $I_{\max}$ (I) упало на 44,4 % величина $I_{\max}$ (II) уменьшилась на 35,2 % относительно контрольных величин ($P < 0,01$). Доза 100 мГр не влияла на высоту первого и второго максимума хемилюминесцентной реакции генерации первичных АФК, значения $I_{\max}$ (I)

и $I_{\max}$ (II) при этих дозах находились в диапазоне значений контроля.

Установлено достоверное снижение высоты первого максимума ($I_{\max}$ (I), имп/с) спонтанной продукции вторичных АФК в крови у животных при дозе облучения 200, 300 и 500 мГр и второго максимума при дозе 100 мГр по сравнению с данными контроля (таблица 4). При внешнем облучении проб крови в поглощенной дозе 200 мГр снижалось значение $I_{\max}$ (I) спонтанной генерации на 333,5 имп/с. или на 41,5 % ($P < 0,001$), при поглощенной дозе 300 мГр – на 331,8 имп/с, или на 41,8 % ($P < 0,01$), в дозе 500 мГр – на 290 имп/с, или на 49,2 % относительно данных контроля ($P < 0,05$). При этих дозах не установлено различий по амплитуде максимальной интенсивности второго пика хемилюминесцентной реакции спонтанного образования вторичных радикалов. Воздействие на пробы крови ионизирующего излучения в дозе 100 мГр не изменяло значение $I_{\max}$ (I), но уменьшало $I_{\max}$ (II) спонтанной генерации люминолзависимых радикалов на 392,9 имп/с, или на 84,7 % в сравнении с контрольными данными ($P < 0,001$).

Максимальная интенсивность пиков антиген-активированной генерации вторичных АФК под воздействием *in vitro* ионизирующего излучения в малых дозах в образцах крови коров изменялась относительно контрольных значений. Первый пик максимальный активности активированного образования люминолзависимых радикалов при облучении в дозе 200 мГр понизился на 1395,9 имп/с, или на 76,4 % ($P < 0,001$), при дозе 300 мГр – на 1260,7 имп/с, или на 69,1 % ($P < 0,01$), при облучении в дозе 400 мГр – на 726,7 имп/с, или на 39,8 % ($P < 0,01$), по сравнению контрольными данными.

Второй пик максимальный активности активированного образования люминолзависимых радикалов при облучении в дозе 100 мГр уменьшился на 482,1 имп/с, или на 44,1 % ($P < 0,01$), при дозе 200 мГр – на 805,6 имп/с, или на 73,7 % ($P < 0,001$), при облучении в дозе 300 мГр – на 686,4 имп/с, или на 62,9 % ($P < 0,01$), при дозе 400 мГр – на 460,5 имп/с, или на 42 % ($P < 0,01$), по сравнению данными контроля.

Суммарная генерация АФК (S , млн имп. за 180 мин.). Дозы от 100 до 300 мГр ингибировали спонтанную продукцию первичных радикалов. При облучении проб крови в дозе 100 мГр количество спонтанных первичных АФК уменьшалось в 2,1 раза, или на 1,8 млн имп. за 180 мин. ($P < 0,001$), при поглощенной дозе 200 мГр снижение регистрировалось в 1,9 раза, или на 1,7 млн имп. за 180 мин. ($P < 0,05$), а при дозе 300 мГр – в 1,6 раза, или на 1,29 млн имп. за 180 мин. ($P < 0,01$), по сравнению с контролем (рис. 1).

При антиген-активированной генерации люцигенинзависимых радикалов регистрировалось сокращение продукции АФК при дозах 200, 300 и 400 мГр. Антиген-активированная продукция первичных радикалов при облучении проб крови в дозе 200 мГр уменьшалась на 2,7 млн имп. за 180 мин., или на 47,4 %, при облучении в дозе 300 мГр – на 2,92 млн имп. за 180 мин., или на 51 % ($P < 0,001$), в дозе 400 мГр – на 2,77 млн имп. за 180 мин., или на 48 % относительно контрольных данных ($P < 0,001$). Дозы в диапазоне 200–500 мГр не потенцировали ожидаемую генерацию АФК при воздействии антигена, что является свидетельством снижения реактивности клеток венозной крови.

Таблица 4
Максимальная интенсивность генерации вторичных АФК при облучении *in vitro* крови коров

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$I_{\max}$ (I), имп/с	$I_{\max}$ (II), имп/с	$I_{\max}$ (I), имп/с	$I_{\max}$ (II), имп/с
Контроль ($n = 42$)	570,16 ± 91,2	463,92 ± 73,6	1826,68 ± 179,6	1093,10 ± 100,2
100 ($n = 7$)	531,50 ± 2,5	71,00 ± 14,0***	1790,50 ± 256,5	611,00 ± 6,0***
200 ($n = 7$)	236,67 ± 18,4***	347,33 ± 77,6	430,75 ± 76,5***	287,50 ± 84,3***
300 ($n = 7$)	238,33 ± 52,5**	363,00 ± 58,2	565,33 ± 106,9**	406,67 ± 86,9**
400 ($n = 7$)	641,50 ± 242,1	461,60 ± 129,8	1100,00 ± 150,2**	632,60 ± 104,3**
500 ($n = 7$)	280,57 ± 66,6*	325,50 ± 65,4	2492,67 ± 550,9	1039,63 ± 190,4

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Table 4
Maximum intensity of generation of secondary ROS during *in vitro* irradiation of the blood of cows

Absorbed dose, mGy	Spontaneous generation		Activated generation	
	$I_{\max}$ (I), imp/s	$I_{\max}$ (II), imp/s	$I_{\max}$ (I), imp/s	$I_{\max}$ (II), imp/s
Control ($n = 42$)	570.16 ± 91.2	463.92 ± 73.6	1826.68 ± 179.6	1093.10 ± 100.2
100 ($n = 7$)	531.50 ± 2.5	71.00 ± 14.0***	1790.50 ± 256.5	611.00 ± 6.0***
200 ($n = 7$)	236.67 ± 18.4***	347.33 ± 77.6	430.75 ± 76.5***	287.50 ± 84.3***
300 ($n = 7$)	238.33 ± 52.5**	363.00 ± 58.2	565.33 ± 106.9**	406.67 ± 86.9**
400 ($n = 7$)	641.50 ± 242.1	461.60 ± 129.8	1100.00 ± 150.2**	632.60 ± 104.3**
500 ($n = 7$)	280.57 ± 66.6*	325.50 ± 65.4	2492.67 ± 550.9	1039.63 ± 190.4

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ compared to control.

Суммарное количество вторичных радикалов, образующихся спонтанно при облучении *in vitro* крови крупного рогатого скота, в диапазоне от 200 мГр до 500 мГр приходилось на один диапазон данных и статистически не различалось от данных контрольных проб (рис. 2), исключение составляли значения, полученные при облучении проб в дозе 100 мГр. При воздействии на клетки крови *in vitro* ионизирующего излучения в дозе 100 мГр снижалась спонтанная продукция вторичных радикалов на 56,9 %, или на 1,97 млн имп. за 180 мин., относительно контрольных значений ($P < 0,001$).

При воздействии ионизирующего излучения в дозах от 100 мГр до 300 мГр угнеталось образование антиген-активированных вторичных радикалов. При облучении образцов крови в дозе 100 мГр снижалось количество антиген-активированных вторичных радикалов на 34,6 %, или на 3,7 млн имп. за 180 мин., при дозе 200 мГр – на 71,9 %, или на 7,7 млн имп. за 180 мин., а при дозе 300 мГр – на 54 %, или на 5,78 млн имп. за 180 мин., относительно контрольных данных ($P < 0,001$).

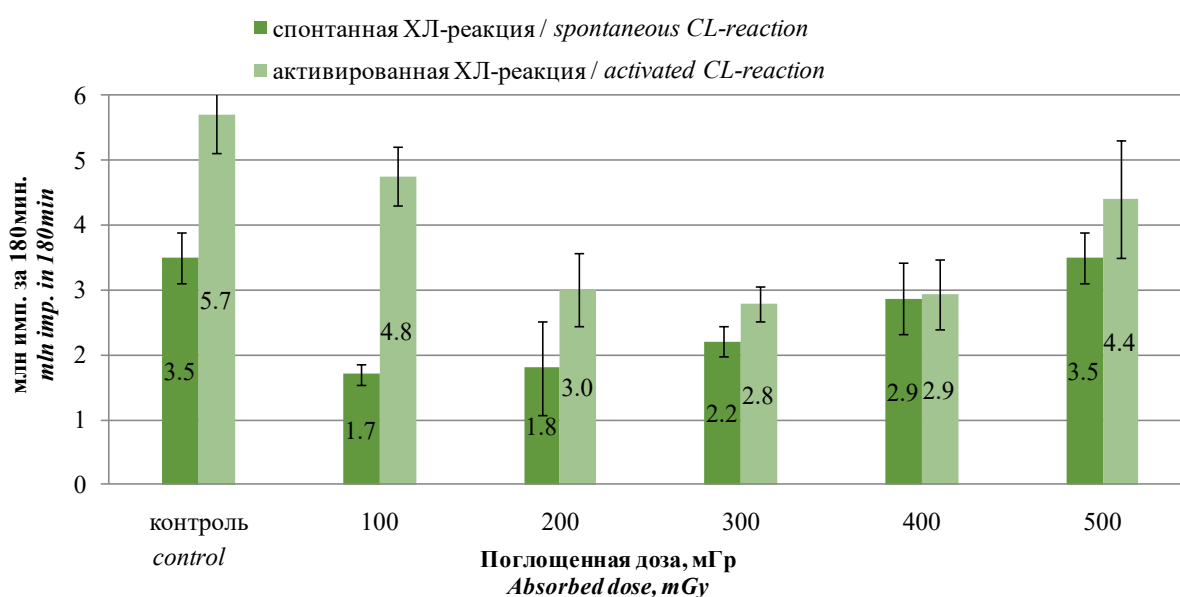


Рис. 1. Светосумма первичных АФК при облучении *in vitro*:
* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем
Fig. 1. Light sum of primary ROS during *in vitro* irradiation:
* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ compared to control

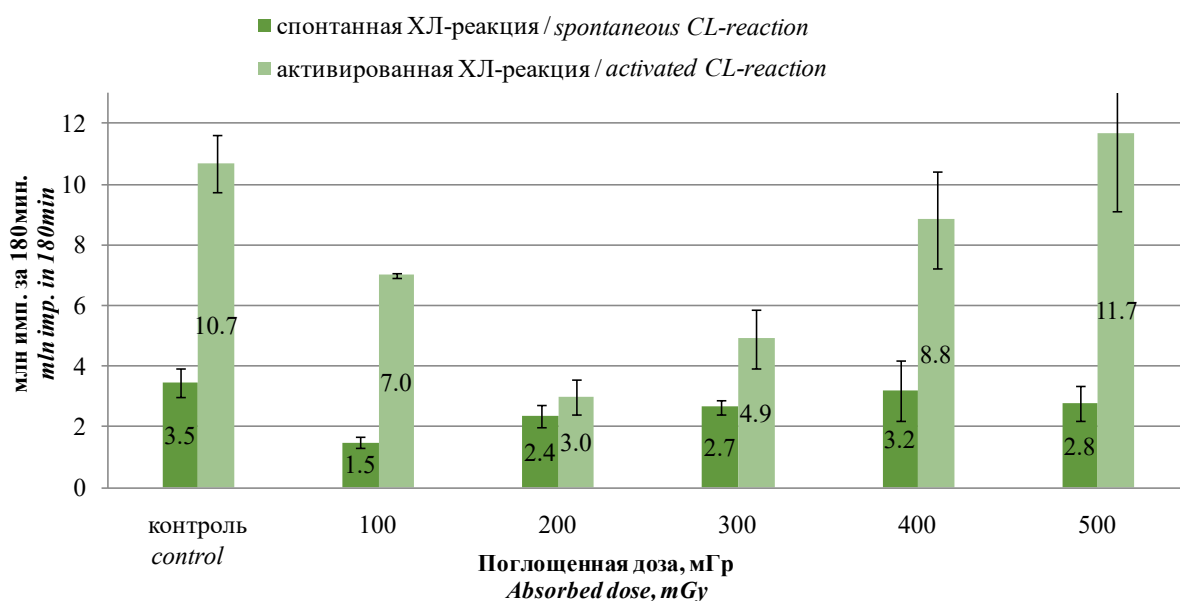


Рис. 2. Светосумма вторичных АФК при облучении *in vitro*: * $P < 0,05$; *** $P < 0,001$ по сравнению с контролем
Fig. 2. Light sum of secondary ROS during *in vitro* irradiation: * $P < 0,05$; *** $P < 0,001$ compared to control

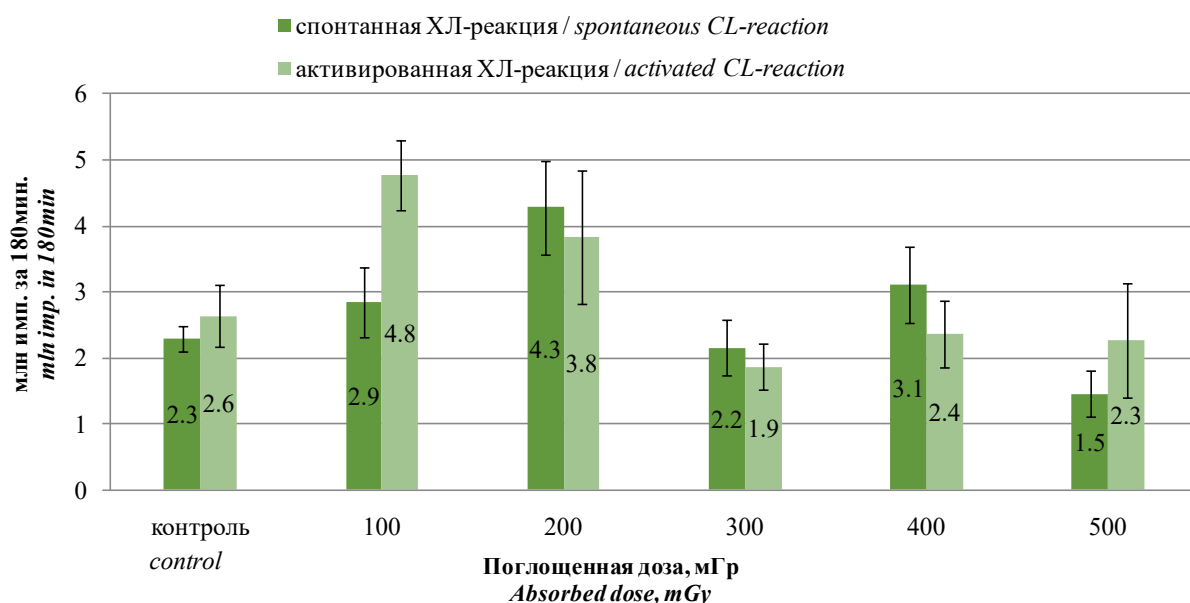


Рис. 3. Индекс активации клеток крови при облучении *in vitro*, усл. ед.: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$ по сравнению контролем
 Fig. 3. The index of activation of blood cells during irradiation *in vitro*, conventional units:
 * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ compared to control

Введение частиц латекса достоверно увеличивает продукцию первичных радикалов при диапазоне доз 100–500 мГр, за исключением дозы в 200 мГр. Антигенная активация клеток крови *in vitro* частицами латекса запускает активацию прооксидантных реакций. Рост количества первичных радикалов является доказательством высокой реактивности клеток крови животных. Поглощенные дозы в 100 мГр и 300–500 мГр оказывают стимулирующее воздействие на клетки периферической крови.

Индекс активации (ИА, усл. ед.) рассчитан на основании вышеприведенных данных, индекс показывает возможность клеток периферической крови к образованию АФК в ответ на антигенное воздействие *in vitro* (рис. 3).

На основании анализа данных, представленных на рис. 3, можно заключить, что доза в 200 мГр оказывают стимулирующее действие на способность клеток к генерации первичных радикалов АФК, доза в 500 мГр ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов, доза в 100 мГр стимулируют клетки крови к генерации вторичных АФК.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате хемилюминесцентного анализа установлено, что дозы ионизирующего излучения в диапазоне от 100 до 300 мГр ускоряли время формирования первого пика спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов. При облучении в дозе в 500 мГр замедляется формирование первого пика спонтанной и активированной генерации первичных АФК, при этом выявлена тенденция к замедлению формирования первого пика спонтанной и антигенактивированной продукции вторичных радикалов.

Поглощенные дозы в 300 и 500 мГр снижали амплитуду первого пика, дозы в 100 и 200 мГр – второго пика спонтанной генерации первичных радикалов. Дозы от 200 до 500 уменьшали высоту первого и второго пиков антиген-активированной генерации первичных радикалов. Дозы в 200, 300, 400 мГр снижали максимальную интенсивность первого и второго пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов. Доза в 100 мГр снижала высоту второго пика при спонтанной и антиген-активированной хемилюминесцентной реакции образования вторичных радикалов. При дозах 200, 300 и 500 мГр выявлено снижение интенсивности первых пиков спонтанного образования вторичных радикалов. Поглощенные дозы в диапазоне от 200 до 400 мГр уменьшают амплитуду максимальной интенсивности антигенактивированной продукции вторичных радикалов. Снижение интенсивности пиков хемилюминесцентной реакции в результате отрицательно отразилось на суммарном количестве первичных и вторичных радикалов.

Облучение проб крови внешним гамма-излучением в диапазоне малых доз ингибировало продукцию свободных форм кислорода, что являлось негативным фактором влияния радиации на клетки периферической крови. Ингибирование спонтанной продукции первичных радикалов происходило при дозах 100 мГр, 200 мГр и 300 мГр, антигенактивированной генерации первичных АФК при дозе 400 мГр. Уменьшение количества спонтанных вторичных АФК регистрировалось при дозе 100 мГр. Снижение продукции антиген-активированных вторичных радикалов происходило при дозах 100, 200 и 300 мГр. Дозы от 200 до 500 мГр не потенцировали генерацию АФК при воздействии антигена,

что являлось свидетельством снижения иммунореактивности клеток периферической крови. Доза в 500 мГр ингибировала реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов.

Достоверно установлено, что дозы 200–500 мГр не потенцируют генерацию АФК при воздействии антигена, что является свидетельством снижения иммунореактивности клеток периферической кро-

ви. Доза в 500 мГр ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов. Однократное гамма-облучение периферической крови *in vitro* в дозе 100 до 500 мГр/год не изменяет время формирования второго пика спонтанной, антигенактивированной генерации первичных и вторичных радикалов.

Библиографический список

1. Vaiserman A., Cuttler J. M., Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders // *Biogerontology*. 2021. Vol. 22, No. 2. Pp. 145–164. DOI: 10.1007/s10522-020-09908-5.
2. Лан М. И., Инин В. Д., Остапчук А. В. Использование радиационной стимуляции в повышении продуктивности сельскохозяйственных животных // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Том II. Пенза, 2020. С. 107–109.
3. Герасимова Т. В., Зюлькина Л. А., Микуляк Н. И. [и др.] Современный взгляд на проблему биологических эффектов радиационного излучения на живые организмы (обзор литературы) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2020. № 3 (55). С. 104–117. DOI: 10.21685/2072-3032-2020-3-10.
4. Devic C., Ferlazzo M. L., Foray N. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein // *Dose-Response*. 2018. Vol. 16, No. 3. P. DOI: 10.1177/1559325818789836.
5. Чукова Ю. П. Радиационный гормезис: физический смысл и значимость для естествознания // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 2020. С. 103–109.
6. Jargin S. V. Radiation safety and hormesis // *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00278.
7. Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis // *International journal of molecular sciences*. 2018. Vol. 19, No. 8. Article number 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.
8. Пузан Н. Д., Чешик И. А. Молекулярные механизмы действия ионизирующего излучения. Влияние облучения на белок (обзор литературы) // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. 2023. № 1 (29). С. 14–26. DOI: 10.58708/2074-2088.2023-1(29)-14-26.
9. Hirano S. I., Ichikawa Y., Sato B., Yamamoto H., Takefuji Y., Satoh F. Molecular Hydrogen as a Potential Clinically Applicable Radioprotective Agent // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, No. 9. Article number 4566. DOI: 10.3390/ijms22094566.
10. Obrador E., Salvador-Palmer R., Villaescusa J. I., Gallego E., Pellicer B., Estrela J. M., Montoro A. Nuclear and Radiological Emergencies: Biological Effects, Countermeasures and Biodosimetry // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11, No. 6. Article number 1098. DOI: 10.3390/antiox11061098.
11. Васин М. В., Ушаков И. Б. Радиомодуляторы как средства биологической защиты от окислительного стресса при воздействии ионизирующей радиации // Успехи современной биологии. 2020. Т. 140, № 1. С. 3–18. DOI: 10.31857/S0042132420010081.
12. Дюкина А. Р., Заичкина С. И., Розанова О. М. [и др.] Влияние инфракрасного и рентгеновского излучений на продукцию активных форм кислорода в крови и индукцию цитогенетических повреждений в костном мозге мышей *in vivo* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 5. С. 536–541.
13. Eckert D., Rapp F., Tseke A. T., Molendowska J., Lehn R., Langhans M., Fournier C., Rödel F., Hehlhans S. ROS- and Radiation Source-Dependent Modulation of Leukocyte Adhesion to Primary Microvascular Endothelial Cells // *Cells*. 2021. Vol. 11, No. 1. Article number 72. DOI: 10.3390/cells11010072.
14. Shimura N., Kojima S. The lowest radiation dose having molecular changes in the living body // *Dose-Response*. 2018. Vol. 16, No. 2. DOI: 10.1177/1559325818777326.
15. Стародубцева М. Н., Челнокова И. А., Шклярова А. Н. [и др.] Параметры редокс-состояния плазмы крови и наноархитектоники поверхности эритроцитов при облучении цельной крови крыс рентгеновским излучением *in vitro* // Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей республиканской научно-практической конференции с международным участием. Гомель, 2021. Т. 1. С. 19–22.

16. Romodin L. A. Chemiluminescence Detection in the Study of Free-Radical Reactions. Part 1 // *Acta Naturae*. 2021. Vol. 13, No. 3. Pp. 90–100. DOI: 10.32607/actanaturae.10912.
17. Агаева Е. В., Петров В. Н., Конопляников А. Г., Лепехина Л. А., Саяпина Е. В., Поповкина О. Е. Особенности влияния облученных костномозговых мезенхимных стромальных клеток на продукцию макрофагами цитокинов и активных форм кислорода // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019. Т. 59, № 4. С. 377–387. DOI: 10.1134/S0869803119040040.
18. Абрамова М. С., Конькова М. С., Момот В. Ю., Кальянов А. А. Молекулярный ответ фибробластов кожи человека с мутацией m.14441 T>C на воздействие ионизирующего излучения в малых и средних дозах // *Медицинская генетика* 2020. Т. 19, № 9. С. 91–93. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.09.91-93.
19. Турицына Е. Г., Федотова А. С. Хемилуминесцентный анализ в ветеринарной медицине: опыт и перспективы применения: монография. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. 152 с.
20. Федотова А. С. Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 12 (215). С. 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.

Об авторах:

Арина Сергеевна Федотова, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Внутренние незаразные болезни, акушерство и физиология сельскохозяйственных животных», Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия; ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584.

E-mail: krasfas@mail.ru

Галина Владимировна Макарская, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Международный научный центр исследований экстремальных состояний организма Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия; ORCID 0000-0002-4848-8880, AuthorID 68202. *E-mail: mgv@icm.krasn.ru*

References

1. Vaiserman A., Cuttler J. M., Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. *Biogerontology*. 2021; 22 (2): 145–164. DOI: 10.1007/s10522-020-09908-5.
2. Lan M. I., Inin V. D., Ostapchuk A. V. The use of radiation stimulation in increasing the productivity of farm animals. *The contribution of young scientists to the innovative development of the agro-industrial complex of Russia: a collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists* Vol. II. Penza, 2020. Pp. 107–109. (In Russ.)
3. Gerasimova T. V., Zyulkina L. A., Mikulyak N. I. and others Sovremennyy vzglyad na problemu biologicheskikh effektivov radiatsionnogo izlucheniya na zhivye organizmy (obzor literatury) [A modern view on the problem of biological effects of radiation on living organisms (literature review)]. *News of higher educational institutions. Volga region. Medical sciences*. 2020; 3 (55): 104–117. DOI: 10.21685/2072-3032-2020-3-10. (In Russ.)
4. Devic C., Ferlazzo M. L., Foray N. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein. *Dose-Response*. 2018; 16 (3). DOI: 10.1177/1559325818789836.
5. Chukova Yu. P. Radiation hormesis: physical meaning and significance for natural science. *Nuclear physics research and technologies in agriculture: collection of reports of the international scientific and practical conference*. Obninsk, 2020. Pp. 103–109. (In Russ.)
6. Jargin S. V. Radiation safety and hormesis. *Frontiers in Public Health*. 2020; 8. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00278.
7. Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis. *International journal of molecular sciences*. 2018; 19 (8): 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.
8. Puzan N. D., Cheshik I. A. Molecular mechanisms of effects of ionizing radiation action. Irradiation effect on protein (literary review). *Medical and Biological Problems of Life Activity*. 2023; 1 (29): 14–26. DOI: 10.58708/2074-2088.2023-1(29)-14-26. (In Russ.)
9. Hirano S. I., Ichikawa Y., Sato B., Yamamoto H., Takefuji Y., Satoh F. Molecular Hydrogen as a Potential Clinically Applicable Radioprotective Agent. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22 (9): 4566. DOI: 10.3390/ijms22094566.

10. Obrador E., Salvador-Palmer R., Villaescusa J. I., Gallego E., Pellicer B., Estrela J. M., Montoro A. Nuclear and Radiological Emergencies: Biological Effects, Countermeasures and Biodosimetry. *Antioxidants*. 2022; 11 (6): 1098. DOI: 10.3390/antiox11061098.
11. Vasin M. V., Ushakov I. B. Radiomodulators as a means of biological protection against oxidative stress when exposed to ionizing radiation. *Biology Bulletin Reviews*. 2020; 140 (1): 3–18. DOI: 10.31857/S0042132420010081. (In Russ.)
12. Dyukina A. R., Zaichkina S. I., Rozanova O. M. et al. Influence of infrared and X-ray radiation on the production of reactive oxygen species in the blood and the induction of cytogenetic damage in the bone marrow of mice in vivo. *Radiation biology. Radioecology*. 2011; 51 (5): 536–541. (In Russ.)
13. Eckert D., Rapp F., Tseke A. T., Molendowska J., Lehn R., Langhans M., Fournier C., Rödel F., Hehlhans S. ROS- and Radiation Source-Dependent Modulation of Leukocyte Adhesion to Primary Microvascular Endothelial Cells. *Cells*. 2021; 11 (1): 72. DOI: 10.3390/cells11010072.
14. Shimura N., Kojima S. The lowest radiation dose having molecular changes in the living body. *Dose-Response*. 2018; 16 (2). DOI: 10.1177/1559325818777326.
15. Starodubtseva M. N., Chelnokova I. A., Shklyarova A. N. et al. Parameters of the redox state of blood plasma and nanoarchitectonics of the surface of erythrocytes during irradiation of rat whole blood with X-rays in vitro. *Current problems of medicine: collection of scientific articles of the republican scientific and practical conference with international participation*. Gomel, 2021. Vol. 1. Pp. 19–22. (In Russ.)
16. Romodin L. A. Chemiluminescence Detection in the Study of Free-Radical Reactions. Part 1. *Acta Naturae*. 2021; 13 (3): 90–100. DOI: 10.32607/actanaturae.10912.
17. Agaeva E. V., Petrov V. N., Konoplyannikov A. G. et al. Features of the effect of irradiated bone marrow mesenchymal stromal cells on the production of cytokines and reactive oxygen species by macrophages. *Radiation biology. Radioecology*. 2019; 59 (4): 377–387. DOI: 10.1134/S0869803119040040. (In Russ.)
18. Abramova M. S., Konkova M. S., Momot V. Yu., Kal'yanov A. A. Molecular response of human skin fibroblasts with the m.14441 T>C mutation to exposure to ionizing radiation at low and medium doses. *Medical Genetics*. 2020; 19 (9): 91–93. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.09.91-93. (In Russ.)
19. Turitsyna E. G., Fedotova A. S. Chemiluminescent analysis in veterinary medicine: experience and prospects for application: a monograph. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2022. 152 p. (In Russ.)
20. Fedotova A. S. Features of absorbed radiation doses calculation for cattle in the conditions of the Krasnoyarsk krai. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 12 (215): 77–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86. (In Russ.)

Authors' information:

Arina S. Fedotova, candidate of biological sciences, associate professor of the department “Internal Non-Infectious diseases, obstetrics and physiology of farm animals”, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia; ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584. *E-mail: krasfas@mail.ru*

Galina V. Makarskaya, candidate of biological sciences, senior researcher, International Scientific Center for Research of Extreme Conditions of the Organism of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk, Russia; ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584. *E-mail: krasfas@mail.ru*

Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы

А. А. Дубовицкий[✉], Э. А. Климентова

Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

[✉]E-mail: daa1-408@yandex.ru

Аннотация. Цель – оценка влияния факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы. **Методология и методы.** В процессе проведения исследования использовались непараметрические статистические методы выявления зависимостей в совокупности данных. При построении прогностических моделей использовался ROC-анализ для нахождения значений точки cut-off. **Результаты.** Проведенное исследование позволило локализовать три группы регионов РФ, существенно различающихся по показателям экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы и характеризующихся высоким уровнем дисперсии внутри групп. Анализ взаимосвязей между параметрами, характеризующими уровень экологического воздействия, позволил выявить факторы, оказывающие определяющее влияние на показатели воспроизводства плодородия земель. В регионах с высоким отрицательным экологическим воздействием решающее значение имеет только величина урожайности, рост которой ведет к увеличению некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия, а соответственно, и к прогрессированию деградации земель. В регионах со средним уровнем отрицательного экологического воздействия его величина зависит еще и от количества внесенных органических удобрений, что и формирует менее высокий уровень некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия и, соответственно, экологического ущерба в регионах, вошедших в эту группу. В группе с положительным экологическим воздействием определяющее влияние на воспроизводство плодородия земель оказывает только уровень внесения органических удобрений. Проведение регрессионного анализа показало, что при аппроксимации значений положительного экологического воздействия на земельные ресурсы наиболее обоснованной переменной может выступать именно количество внесения органических удобрений. ROC-анализ в отношении внесения органических удобрений под зерновые культуры как потенциального прогностического параметра положительного экологического воздействия показал, что его пороговое значение в точке cut-off, составляет 2,56 т на 1 га. **Научная новизна** заключается в формировании доказательной базы зависимости уровня плодородия земель от параметров агроэкологического воздействия, необходимых для понимания механизмов построения системы рационального землепользования в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сельское хозяйство, земельные ресурсы, региональные особенности, воспроизводство плодородия, эффективность, механизм управления, земельная политика

Для цитирования: Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-381-391>.

Дата поступления статьи: 13.10.23, **дата рецензирования:** 20.11.2023, **дата принятия:** 10.01.2024.

Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources

A. A. Dubovitskiy✉, E. A. Klimentova

Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

✉E-mail: daa1-408@yandex.ru

Abstract. The purpose is to assess the impact of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources. **Methodology and methods.** In the course of the study, nonparametric statistical methods were used to identify dependencies in the data set. When constructing predictive models, ROC-analysis was used to find the values of the cut-off point. **Results.** The study made it possible to localize three groups of regions of the Russian Federation that differ quite significantly in terms of the environmental impact of agricultural production on land resources and are characterized by a high level of dispersion within the groups. The analysis of the interrelations between the parameters characterizing the level of environmental impact made it possible to identify factors that have a decisive influence on the indicators of reproduction of land fertility. In regions with a high negative environmental impact, only the yield value is crucial, the growth of which leads to an increase in the uncompensated removal of soil fertility elements, and, accordingly, to the progression of land degradation. In regions with an average level of negative environmental impact, its magnitude also depends on the amount of organic fertilizers applied, which forms a less high level of uncompensated removal of soil fertility elements and, accordingly, environmental damage in the regions included in this group. In the group with a positive environmental impact, it is the level of application of organic fertilizers that has a decisive influence on the reproduction of land fertility. The regression analysis showed that when approximating the values of the positive environmental impact on land resources, the amount of organic fertilizers can be the most reasonable variable. ROC-analysis regarding the application of organic fertilizers for grain crops as a potential predictive parameter of positive environmental impact showed that its threshold value at the cut-off point is 2.56 tons per 1 ha. **The scientific novelty** lies in the formation of the evidence base of the dependence of land fertility on the parameters of agroecological impact necessary to understand the mechanisms of building a system of rational land use in agriculture.

Keywords: agriculture, land resources, regional peculiarities, fertility reproduction, efficiency, management mechanism, land policy

For citation: Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-381-391>. (In Russ.)

Date of paper submission: 13.10.23, **date of review:** 20.11.2023, **date of acceptance:** 10.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Ключевым условием формирования системы рационального использования земельных ресурсов является обеспечение не только высокого уровня экономической эффективности, но и достаточного для расширенного воспроизводства уровня эколого-экономической эффективности [1–3], учитывающей совокупное агроэкологическое воздействие сельскохозяйственной деятельности на земельные ресурсы. Для получения необходимого уровня эколого-экономической эффективности должно быть обеспечено простое или расширенное воспроизводство элементов почвенного плодородия, предотвращение любого отрицательного экологического влияния на почвы [4–6].

Основным идентифицируемым параметром экологического воздействия на почвенное плодородие

является оценка параметров изменения органического вещества почвы (гумуса) и минеральных элементов питания (азота, фосфора и калия) [7].

В Российской Федерации проводится ежегодный мониторинг пахотных угодий, включающий в себя два направления: качественную характеристику земель и негативные процессы на землях сельскохозяйственного назначения [8].

Несмотря на ежегодную публикацию доклада о состоянии земельных ресурсов, в системе общенационального мониторинга земель существует несколько проблем, среди которых можно отметить следующие:

– во-первых, не все значимые проявления деградации земель включены в перечень наблюдаемых показателей (к примеру, нарушение структуры почвы и снижение биоразнообразия почв не входят в данный перечень);

– во-вторых, ежегодно лишь около 3 % из 382 млн га земель сельскохозяйственного назначения обследуется в рамках мониторинга;

– в-третьих, мониторинг содержания гумуса, фосфора и калия рассматривается в рамках статичной характеристики плодородия почв, а не в рамках динамической оценки процессов деградации;

– в-четвертых, последнее обновление картографического материала и рекомендаций по предупреждению и устранению деградации земель в большинстве регионов осуществлялось более десяти лет назад.

В результате складывается ситуация, характеризующаяся отсутствием полной и достоверной информации о процессах падения плодородия земель. Качественные лабораторные исследования почвы имеют весьма высокую стоимость и в основном доступны крупным землевладельцам.

В таких условиях землепользователи могут только предполагать об уровне плодородия почвы и потребности внесения удобрений на основе полевых опытов, например, по уровню урожайности культур в последние годы.

При отсутствии официальной статистики по показателям динамики уровня плодородия провести экономическую оценку экологического воздействия сельского хозяйства на земельные ресурсы возможно лишь по отдельным культурам, используя элементы балансового инструментария [1; 9–11].

На наш взгляд, изучение параметров, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы, может дать новые сведения о механизмах формирования системы рационального землепользования в сельском хозяйстве.

Исходя из вышеизложенного была сформулирована цель исследования – анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы.

Методология и методы исследования (Methods)

Поскольку величина эколого-экономической эффективности использования земельных ресурсов определяется в зависимости от экологического воздействия производства сельскохозяйственных культур на плодородие почвы, нами была проведена статистическая оценка и выявлены региональные особенности влияния факторов на величину этого воздействия. Источником информации послужили официальные статистические данные Росстата и Росреестра Российской Федерации.

При проведении корреляционного анализа взаимосвязи показателей воспроизводства плодородия и экономической оценки величины совокупного экологического воздействия в тыс. руб. (y) использовались следующие данные:

- уровень внесения органических удобрений, т (x_1);
- уровень внесения минеральных удобрений, кг (x_2);
- урожайность, ц с 1 га (x_3);
- баланс элементов питания, кг (x_4);
- баланс гумуса, т (x_5).

Все вышеперечисленные показатели оценивались при возделывании зерновых культур (наиболее распространенной группы сельскохозяйственных культур) по данным Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов, где сосредоточено 66 % всех посевных площадей зерновых. Совокупность данных была представлена векторным пространством y и x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 размерности $N(38)$ с α -нормальной формой распределения по тесту Шапиро – Уилка ($p < 0,05$; $W(38) < 0,95$), что определило целесообразность использования непараметрических моделей анализа зависимости переменных и построения рабочей модели. Корреляционный анализ проводился по методу Спирмена, уровень тесноты связей оценивался на основе классификации Чеддока, аналитическое исследование группировки выполнено с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса для независимых выборок. При определении эколого-экономических прогностических параметров использовалась бинарная логистическая регрессия и ROC-анализ, пороговое значение в точке cut-off определялось с помощью индекса Юдена.

Результаты (Results)

Вследствие корреляционного анализа результативной (y) и факторных (x_i) переменных было выявлено, что наиболее тесная прямая связь проявляется между y и x_1 ($r = 0,814, p < 0,0001$), y и x_3 ($r = -0,829, p < 0,001$), y и x_4 ($r = 0,987, p < 0,001$), а также между y и x_5 ($r = 0,982, p < 0,001$). Согласно классификации Чеддока, данные уровни тесноты связей можно считать сильными.

Следует отметить наличие достаточно высокой мультиколлинеарности между факторами x_2 и x_3 , а также между x_4 и x_1 , между x_5 и x_3, x_4 , свидетельствующей о линейной зависимости между объясняющими переменными регрессионной модели. Данный факт требует исключения трех из пяти рассматриваемых факторов из дальнейшего процесса построения рабочей модели.

Таким образом, при аппроксимации значений экономической оценки величины экологического воздействия наиболее обоснованными переменными могут выступать уровень внесения органических удобрений (x_1) и урожайность зерновых культур в региональном землепользовании (x_3).

По результатам корреляционного анализа нами была поставлена и решена задача дифференциации регионов по величине экологического воздействия. Группировка позволила локализовать три группы

регионов, существенно различающихся по всем рассмотренным параметрам воспроизводства плодородия земель и характеризующихся довольно высокой внутригрупповой дисперсией (таблица 1).

В группу А вошли регионы с минимальным внесением органических удобрений и максимальным внесением минеральных удобрений, что формирует максимально отрицательное экологическое воздействие (более 7,85 тыс. руб. на 1 га в стоимостном выражении). В эту группу вошли 10 регионов: Краснодарский край, Астраханская, Брянская, Курская, Ростовская, Орловская, Тамбовская и Тульская области, республики Калмыкия и Адыгея. Данная группа включает регионы с благоприятными природно-климатическими условиями и плодородием почв, обуславливающими возможность получения высоких урожаев на фоне использования необходимых доз минеральных удобрений.

Высокая урожайность обуславливает необходимый для ее формирования вынос элементов почвенного плодородия, которые не компенсируются соответствующим внесением прежде всего органических удобрений. Субъекты данной группы располагаются преимущественно в южной части ЦФО и южных регионах России.

Группу В составили регионы с уровнем экологического воздействия от –7,85 тыс. руб. до 0 на 1 га. В эту группу вошли 19 регионов, в том числе Московская, Липецкая, Рязанская, Саратовская, Пензенская, Калужская Владимирская, Оренбургская области и ряд других. В этих регионах оказывается меньшее экологическое воздействие на земельные ресурсы. Они сосредоточены преимущественно в более северных и восточных частях страны и характеризуются более низким уровнем урожайности и более высоким уровнем внесения органических удобрений.

Таблица 1

Сравнение значений факторов, определяющих экологическое воздействие зернопроизводства на земельные ресурсы

Показатели	Внесение органических удобрений, т	Внесение минеральных удобрений, кг	Урожайность, ц/га	Баланс элементов питания, кг (+/-)	Баланс гумуса, т (+/-)	Экономическая оценка совокупного экологического воздействия, тыс. руб.
Группа А (N 10)						
Медиана	0,31	145,72	43,15	-122,48	-1,63	-10,48
Q1	0,13	109,13	38,03	-130,31	-1,82	-12,40
Q3	0,53	175,99	48,30	-110,97	-1,46	-9,62
Группа В (N 19)						
Медиана	1,09	63,74	23,00	-44,53	-0,69	-4,22
Q1	0,58	53,61	18,25	-63,47	-0,86	-5,90
Q3	2,09	100,94	27,60	-7,23	-0,35	-1,88
Группа С (N 9)						
Медиана	3,51	62,25	15,10	44,83	-0,02	1,98
Q1	2,99	46,61	14,30	42,90	-0,07	1,17
Q3	4,48	85,81	18,15	70,27	0,31	3,55

Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата (<https://rosstat.gov.ru>).

Table 1

Comparison of the values of factors determining the environmental impact of grain production on land resources in the regions

Indicators	Application of organic fertilizers, t	Application of mineral fertilizers, kg	Yield, c per 1 ha	Battery balance, kg (+/-)	Humus balance, t (+/-)	Economic assessment of the total environmental impact, thousand
Group A (N 10)						
Median	0.31	145.72	43.15	-122.48	-1.63	-10.48
Q1	0.13	109.13	38.03	-130.31	-1.82	-12.40
Q3	0.53	175.99	48.30	-110.97	-1.46	-9.62
Group B (N 19)						
Median	1.09	63.74	23.00	-44.53	-0.69	-4.22
Q1	0.58	53.61	18.25	-63.47	-0.86	-5.90
Q3	2.09	100.94	27.60	-7.23	-0.35	-1.88
Group C (N 9)						
Median	3.51	62.25	15.10	44.83	-0.02	1.98
Q1	2.99	46.61	14.30	42.90	-0.07	1.17
Q3	4.48	85.81	18.15	70.27	0.31	3.55

Source: calculated by the authors according to Rosstat (<https://rosstat.gov.ru>).

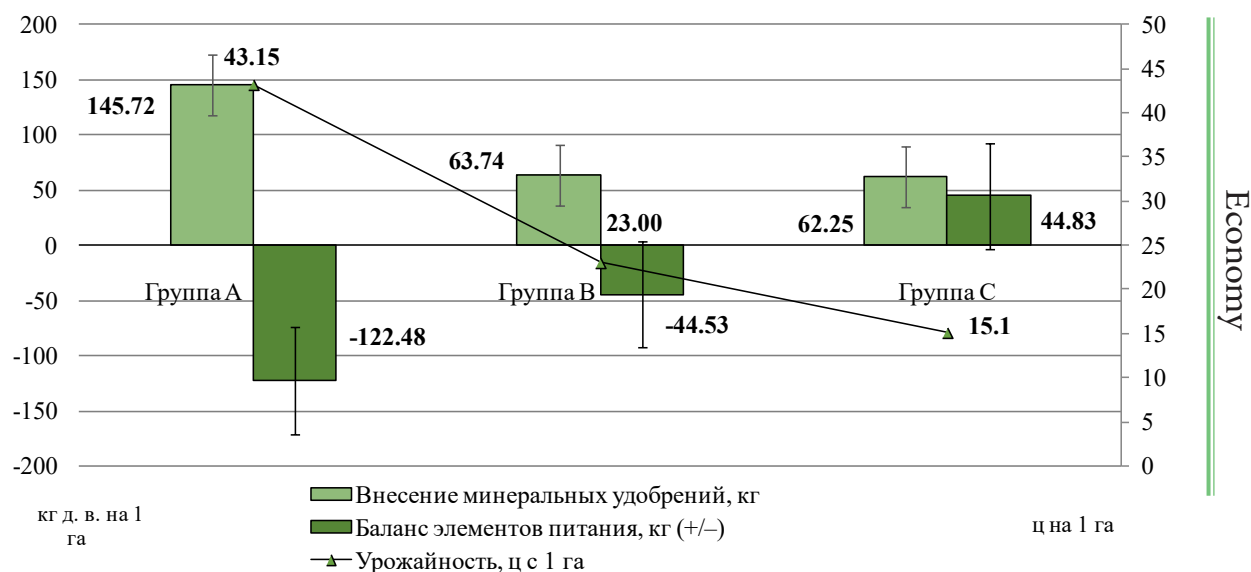


Рис. 1. Сравнение показателей внесения минеральных удобрений и урожайности групп А, В, С
Источник: составлено авторами на основе собственных исследований

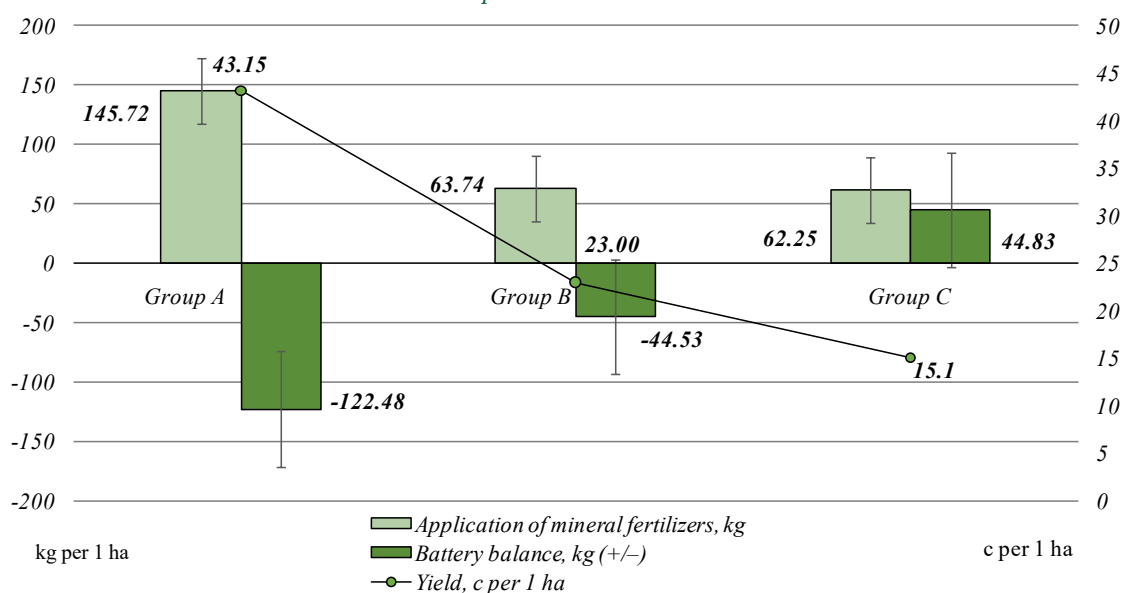


Fig. 1. Comparison of indicators of the degree of land use of groups A, B and C
Source: compiled by the authors based on their own research

В группу С вошли 9 регионов с расширенным типом воспроизводства почвенного плодородия, которые характеризуются положительным экологическим воздействием. В их числе республики Татарстан, Башкортостан, Марий Эл и Чувашия, Смоленская, Кировская, Костромская, Ярославская области и Пермский край. Данные регионы преимущественно сосредоточены в северной части Центрального федерального округа, а также в Приволжском федеральном округе. Агрохозяйство данной группы отличается относительно худшими природно-климатическими условиями и, как правило, более слабой финансовой состоятельностью хозяйств регионов.

В целом проведенная группировка подтверждает результаты корреляционного анализа и свиде-

тельствует о низком уровне воспроизводства плодородия земель при возделывании зерновых культур почти в половине рассмотренных регионов.

Результаты аналитического исследования группировки с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса подтверждают, что рост внесения минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности зерновых культур и одновременно увеличением отрицательного баланса элементов питания в почве и, соответственно, экологического ущерба. (рис. 1, 2).

Рост внесения минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности зерновых культур и одновременно увеличением отрицательного баланса элементов питания в почве и, соответственно, экологического ущерба.

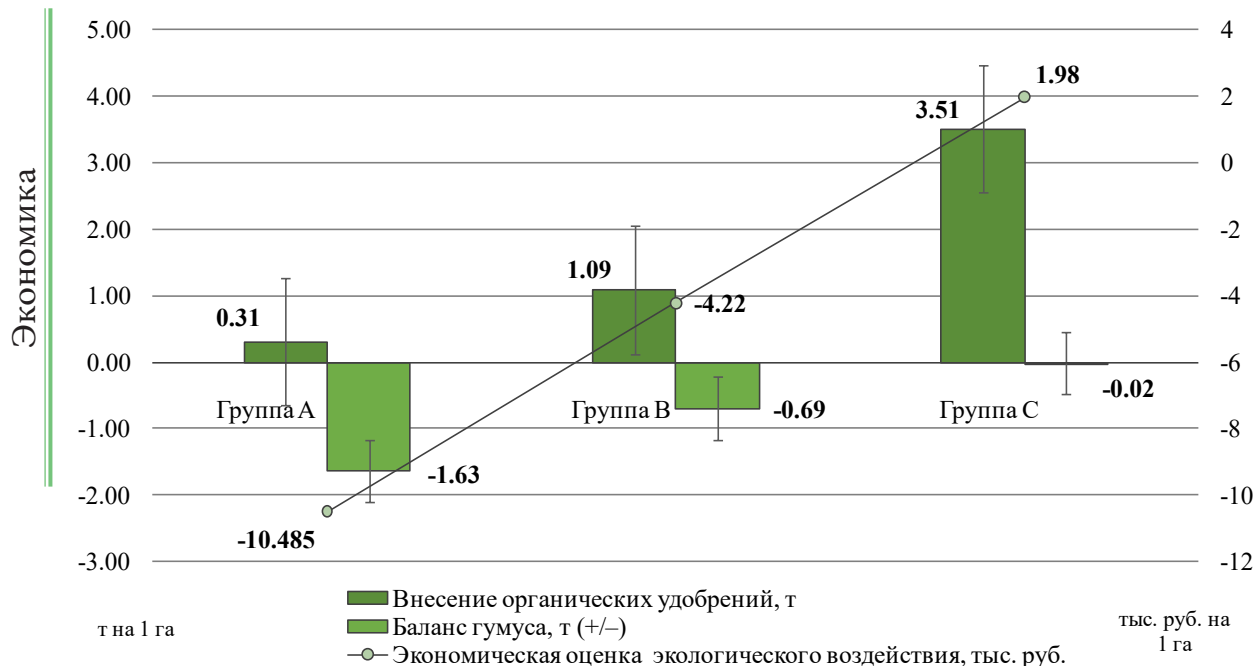


Рис. 2. Сравнение показателей внесения органических удобрений и экономической оценки величины экологического воздействия групп А, В, С

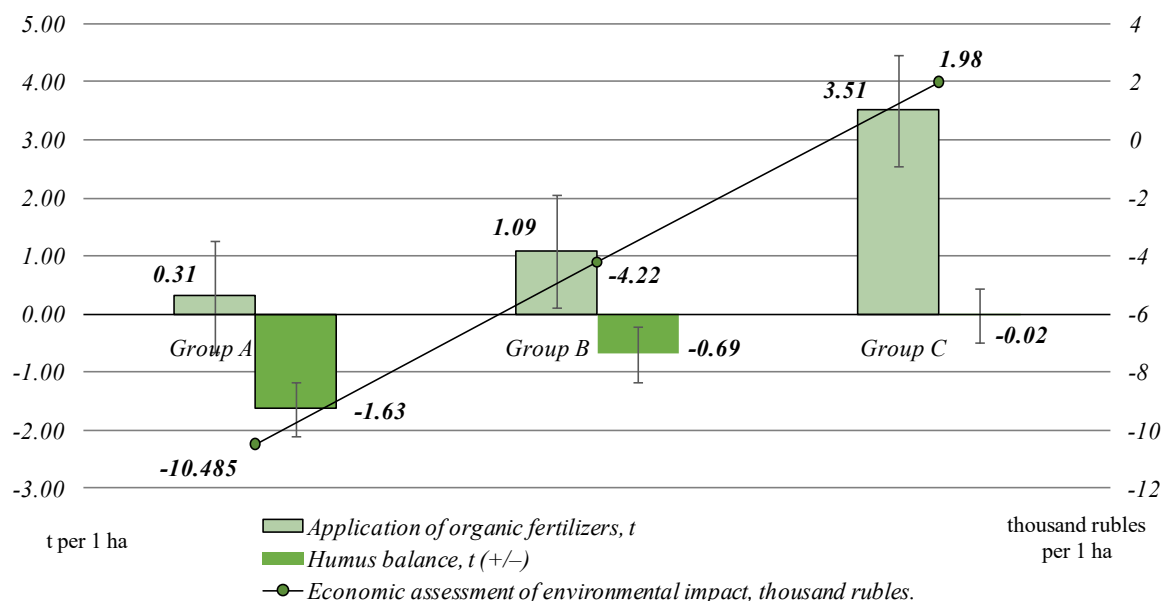


Fig. 2 Comparison of indicators of organic fertilizer application and economic assessment of the environmental impact of groups A, B, C

В группе А наблюдаются максимальные значения показателя внесения минеральных удобрений всей совокупности регионов, включенных в группировку. Медиана уровня внесения минеральных удобрений составила 145,72 кг (109,13; 175,99).

Регионы группы А значимо отличаются от регионов группы В ($p = 0,006$) и группы С ($p = 0,003$) при достоверно незначимом отличии между группами В и С ($p = 0,474$), что свидетельствует о сопоставимости этих групп по значениям этого показателя.

Регионы группы А по балансу элементов питания значимо отличаются от регионов группы В ($p = 0,001$) и группы С ($p = 0,0001$). Значимое различие наблюдается также между группами В и С ($p = 0,002$).

По уровню урожайности проверка нулевой гипотезы одинакового распределения между группами не подтверждена ни в одном сравнении групп. С увеличением внесения минеральных удобрений растет урожайность. Между группами А и В отличия по урожайности значимы ($p = 0,002$), как и между группами А и С ($p = 0,014$) и В и С ($p = 0,0001$).

Таблица 2

Параметры корреляции факторов, определяющих экологическое воздействие зернопроизводства на земельные ресурсы по группам регионов Российской Федерации

Группы	Показатели		y	x1	x3
А	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,037	-0,794**
		P-значение	0,000	0,920	0,006
		N	10	10	10
В	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,667**	-0,456*
		P-значение	0,000	0,002	0,05
		N	19	19	19
С	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,867**	-0,525
		P-значение	0,000	0,002	0,146
		N	9	9	9

* Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

** Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Table 2

Correlation parameters of factors determining the ecological impact of grain production on land resources by groups of regions of the Russian Federation

Groups	Indicators		y	x1	x3
A	y	Correlation coefficient	1.000	0.037	-0.794**
		P value	0.000	0.920	0.006
		N	10	10	10
B	y	Correlation coefficient	1.000	0.667**	-0.456*
		P value	0.000	0.002	0.05
		N	19	19	19
C	y	Correlation coefficient	1.000	0.867**	-0.525
		P value	0.000	0.002	0.146
		N	9	9	9

* Correlation is significant at 0.05 (two-way).

** Correlation is significant at 0.01 (two-way).

Полученные асимптотические значимости парных сравнений групп по показателям внесения органических удобрений, баланса гумуса и экологического воздействия позволяют сделать следующие выводы. Уровень внесения органических удобрений имеет значимое отличие только между группами А и С ($p = 0,0001$). Уровень внесения органических удобрений внутри групп В и С отличается высокой дисперсией, что является причиной менее значимого отличия в целом между этими группами по уровню данного показателя ($p = 0,006$). Причем уровень внесения органических удобрений в группе С составил 3,51 т на 1 га (2,99; 4,48), что выше, чем в группе В: 1,09 т на 1 га (0,58; 2,09). При этом значимое отличие регионов группы А от регионов группы В также отсутствует ($p = 0,021$).

Важным показателем использования земель является баланс гумуса в почве. Уровень этого показателя соответствует уровню внесения органических удобрений и существенно отличается по группам: А: -1,63 т на 1 га (-1,82; -1,46); В: -0,69 т на 1 га (-0,86; -0,35); С: -0,02 т на 1 га (-0,07; 0,31). Уровень значимости отличий $p \leq 0,05$. Следовательно, воспроизводство гумуса в почве значимо взаимосвязано с ростом внесения органических удобрений.

В исследуемых группах прослеживается непосредственная разнонаправленная взаимосвязь между балансом гумуса и величиной экологического воздействия. С ростом одного показателя снижается другой. Максимальные значения экологического ущерба наблюдаются в группе А: -10,48 тыс. руб. на 1 га (-12,40; -9,62). Значимые отличия наблюдаются между группами А и В ($p = 0,001$), группами А и С ($p = 0,0001$) при достоверно значимом отличии между группами В и С ($p = 0,002$).

С целью выявления зависимости между уровнем внесения удобрений, урожайностью и экономической оценкой экологического воздействия нами был проведен корреляционный анализ внутри групп по рассматриваемым показателям. Первоначальное тестирование формы распределения данных выявило наличие показателей с достаточно высокой коллинеарностью (уровень внесения минеральных удобрений и урожайность), что потребовало исключения первого из факторов (с меньшим уровнем корреляции и значимости) из дальнейшего процесса построения рабочей модели. Полученные результаты представлены в таблице 2

По результатам корреляции можно сделать вывод, что в группе А единственным значимым фак-

тором, оказывающим влияние на экономическую оценку величины экологического ущерба при использовании земельных ресурсов, является уровень урожайности, рост которой ведет к увеличению некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия, а соответственно, и к прогрессированию деградации земель ($p = 0,006$). Уровень тесноты связей, согласно классификации Чеддока, считается заметным по силе.

Низкий уровень внесения органических удобрений не оказывает значимого влияния на итоговые показатели воспроизводства почвенного плодородия на региональном уровне.

В группе В на уровень экологического воздействия влияет не только урожайность ($p = 0,05$), но и количество внесенных органических удобрений ($p = 0,002$), что и формирует менее высокий уровень некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия и, соответственно, экологического ущерба в регионах, вошедших в эту группу. Уровни тесноты связей данных показателей можно считать умеренными по силе.

В группе С с более высоким уровнем внесения органических удобрений и более низкой урожайностью по сравнению с первыми группами определяющее влияние на воспроизводство плодородия земель оказывает именно первый фактор ($p = 0,002$). Сложившиеся в этой группе параметры использования земель позволяют осуществлять расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

В соответствии с этим при аппроксимации значений положительного экологического воздействия на земельные ресурсы наиболее обоснованной пе-

ременной может выступать именно количество внесения органических удобрений.

ROC-анализ в отношении внесения органических удобрений как потенциального прогностического параметра положительного экологического воздействия показал, что его пороговое значение в точке cut-off, определенное с помощью индекса Юдена, – 2,56 т на 1 га ($AUC = 0,914 \pm 0,048$, 95 % ДИ: 0,819–1,000), p -значение = 0,0001 (рис. 3).

Величина внесения органических удобрений, равная точке cut-off или выше нее, позволяет прогнозировать положительный уровень экологического воздействия на земельные ресурсы. Чувствительность и специфичность модели – 88,9 % и 78,5 % соответственно.

Результаты бинарной логистической регрессии свидетельствуют о том, что повышение внесения органических удобрений является основным предиктором снижения отрицательного экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В целом можно сделать вывод, что повышение урожайности на основе технологического совершенствования производства, безусловно, способствует росту экономической эффективности использования земельных ресурсов, но одновременно служит причиной прогрессирования падения плодородия земель и, соответственно, роста отрицательного экологического воздействия на них, что ведет к снижению эколого-экономической эффективности.

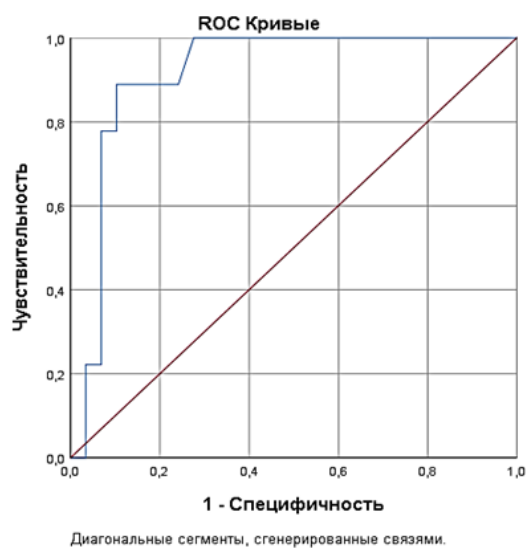


Рис. 3. Влияние уровня внесения органических удобрений на величину экономической оценки экологического воздействия
Источник: рассчитано автором на основе собственных исследований

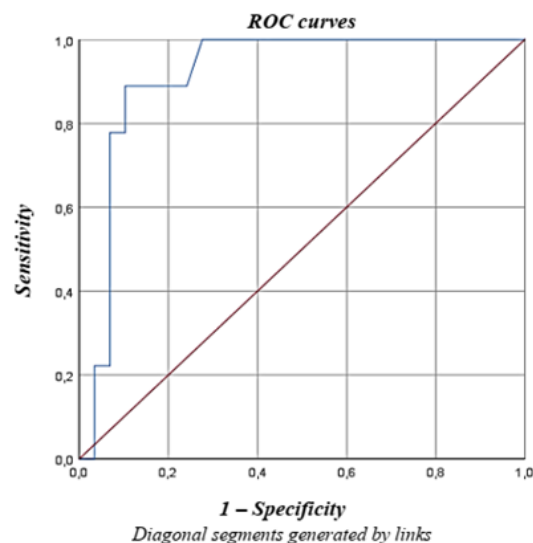


Fig. 3. The effect of the level of organic fertilizers on the value of the economic assessment of environmental impact
Source: calculated by the author on the basis of his own research

Для воспроизводства плодородия почв органическое вещество почвы должно поддерживаться на стабильном уровне. Для бездефицитного баланса гумуса под данные культуры требуется внесение органики в несколько раз больше фактического уровня последних лет. К примеру, пороговое значение положительного экологического воздействия при возделывании зерновых культур в точке cut-off составляет 2,56 т на 1 га. Величина внесения органических удобрений в регионах РФ, равная этой точке или выше нее, позволяет прогнозировать положительный уровень экологического воздействия на земельные ресурсы. Фактическое же внесение в 2021 году составило только 1,2 т органических удобрений на 1 га.

Кардинальным образом изменить сложившуюся ситуацию с низким уровнем внесения органических удобрений в условиях продолжающегося сужения отраслей животноводства в ближайшее время не удастся. В России только за период 2017–2021 гг. поголовье овец уменьшилось на 2562 тыс. голов, или на 11,5 %, крупного рогатого скота – на 640 тыс. голов, или на 3,5 %.

В этих условиях важную роль в воспроизводстве плодородия земель могут играть не только органические удобрения, но и биологические при-

емы и методы [12–18], в том числе использование сидеральных и покровных культур [15], заплата растительных остатков мульчирование почвы [16], использование различных компостов [17] и т. д., позволяющие активизировать поступление органических веществ в почву. Актуальной задачей современного сельского хозяйства является интеграция подобных приемов в принятые на предприятиях системы ведения сельского хозяйства с целью обеспечения максимального уровня эколого-экономической эффективности землепользования и достижения критериев рациональности. Подобное совмещение возможно на основе высокотехнологичного сельского хозяйства с широким внедрением элементов природоохранного земледелия. При этом важным условием решение задачи по расширению внедрения в практику экологически благоприятных методов сельскохозяйственного производства является обеспечение заинтересованности землепользователей в природоохранной направленности производства, что, в свою очередь, требует дальнейшего совершенствования механизма государственного управления сельскохозяйственным землепользованием посредством формирования системы стимулов, которые побуждали бы землепользователей рационально использовать земельные ресурсы.

Библиографический список

1. Голубев А. В. Возможности развития растениеводства России в условиях глобальных вызовов // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 11. С. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2020i11pp4-10.
2. Ларионов Ю. С., Жарников В. Б., Стуканов А. А. Формирование системы рационального сельскохозяйственного землепользования на основе теории воспроизводства почвенного плодородия // *Вестник СГУГиТ*. 2020. Т. 25, № 3. С. 241–250.
3. Недикова Е. В., Куликова Е. В. Научно-методические рекомендации по предотвращению деградации земельных угодий // *Регион: системы, экономика, управление*. 2022. № 2 (57). С. 102–107.
4. Долматова Л. Г. Экосистемный подход в формировании рационального землепользования // *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*. 2021. № 14. С. 5–8.
5. Ковалева И. В. Развитие агроэкологии в системе рационального землепользования // *Социально-экономический и гуманитарный журнал*. 2022. № 2 (24). С. 120–131.
6. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Концептуальные и методологические подходы к формированию рационального землепользования в сельском хозяйстве // *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 8. С. 40–46. DOI: 10.32651/218-40.
7. Критерии существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: [утверждены постановлением Правительства РФ от 22.07.2011 N 612] [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/14176.html> (дата обращения: 24.05.2023).
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. Москва: Росинформагротех, 2021. 384 с.
9. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н. Параметры изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от севооборотов и систем удобрения // *Почвоведение и агрохимия*. 2009. № 2 (43). С. 7–22.
10. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Эколого-экономическая эффективность использования земельных ресурсов: методический аспект // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. № 5. С. 2–6. DOI: 10.32651/205-2.
11. Dubovitski A., Klimentova E., Nikitin A. et al. Ecological and Economic Aspects of Efficiency of the Use of Land Resources // *E3S Web of Conferences*. 2020. Article number 11004. DOI: 10.1051/e3sconf/202021011004.

12. Эседуллаев С. Т., Мельцаев И. Г. Биологизированные севообороты - основной фактор повышения плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности пашни в Верхневолжье // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (190). С. 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300.42959538.
13. Климентова Э. А., Дубовицкий А. А., Смыслова О. Ю. Рациональное использование земельных ресурсов как фактор повышения устойчивости сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1. С. 143–155. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_143.
14. Atieno M., Herrmann L., Nguyen H. T. et al. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the great Mekong region // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 275. Article number 111300. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111.
15. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology // Agroecology and Sustainable Food Systems. 2020. No. 4 (8). Pp. 973–974. DOI: 10.1080/21683565.2020.1774110.
16. Русакова И. В. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы, продуктивность культур и баланс элементов питания при длительном применении соломы // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15, № 3. С. 15–21.
17. Рублюк М. В., Иванов Д. А., Карасева О. В. Влияние компоста многоцелевого назначения на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в мелиорированных агроландшафтах // Аграрный вестник Урала. 2021. № 6 (209). С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-12-21.
18. La Canne C. E., Lundgren J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably // Peer J. 2018. Vol. 6. Article number e4428. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>. (Accessed 23 July 2022).

Об авторах:

Александр Алексеевич Дубовицкий, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и коммерции, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия;
ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247. E-mail: daa1-408@yandex.ru

Эльвира Анатольевна Климентова, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и коммерции, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия;
ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886. E-mail: klim1-408@yandex.ru

References

1. Golubev A. V. Opportunities for the development of Russian crop production in the context of global challenges. *Agrarian Scientific Journal*. 2020; 11: 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2020i11pp4-10. (In Russ.)
2. Larionov Yu. S., Zharnikov V. B., Stukanov A. A. Formation of rational agricultural land use system on the basis of soil fertility recreation theory. *Vestnik SGUGT*. 2020; 25 (3): 241–250. (In Russ.)
3. Nedikova E. V., Kulikova E. V. Scientific and methodological recommendations to prevent land degradation. *Region: systems, economics, management*. 2022; 2 (57): 102–107. (In Russ.)
4. Dolmatova L. G. Ecosystem approach in forming rational land use. *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*. 2021; 14: 5–8. (In Russ.)
5. Kovaleva I. V. Agroecology development in the rational land use system. *Socio-economic and humanitarian journal*. 2022; 2 (24): 120–131. (In Russ.)
6. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Conceptual and methodological approaches to the formation of rational land use in agriculture. *Economics of agriculture of Russia*. 2021; 8: 40–46. DOI: 10.32651/218-40. (In Russ.)
7. Criteria for a significant decrease in the fertility of agricultural land: [approved by the Decree of the Government of the Russian Federation, 22.07.2011 No 612] [Internet]. [cited 2023 May 24]. Available from: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/14176.html>. (In Russ.)
8. Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: Rosinformagrotech, 2021. 384 p. (In Russ.)
9. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N. Parameters of agrochemical properties of luvisol loamy sand soil and its fertility status in dependence on crop rotations and fertilizer systems. *Soil Science and Agrochemistry*. 2009; 2 (43): 7–22. (In Russ.)
10. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Ecological and economic efficiency of land use: methodical aspect. *Economics of Agriculture of Russia*. 2020; 5: 2–6. DOI: 10.32651/205-2. (In Russ.)
11. Dubovitskiy A., Klimentova E., Nikitin A. et al. Ecological and Economic Aspects of Efficiency of the Use of Land Resources. *E3S Web of Conferences*. 2020: 11004. DOI: 10.1051/e3sconf/202021011004.
12. Esedullaev S. T., Meltsaev I. G. Biologized crop rotation – the main factor for fertility increases of sod-podzolic soils and arable land productivity in the Upper Volga. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 11 (190): 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300.42959538. (In Russ.)

13. Klimentova E. A., Dubovitskiy A. A., Smyslova O. Yu. Rational use of land resources as a factor of increasing the sustainability of agriculture. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (1). Pp. 143–155. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_143. (In Russ.)
14. Atieno M., Herrmann L., Nguyen H. T. et al. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the great Mekong region. *Journal of Environmental Management*. 2020; 275: 111300. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111.
15. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020; 4 (8): 973–974. DOI: 10.1080/21683565.2020.1774110.
16. Rusakova I. V. Agrochemical properties of soddy-podzolic soil, productivity of cultures and balance of nutrients upon long-term introduction of straw. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2019; 15 (3): 15–21. (In Russ.)
17. Rublyuk M. V., Ivanov D. A., Karaseva O. V. Influence of multipurpose compost on agrochemical indicators of sod-podzolic soil and crop productivity in reclaimed agricultural landscapes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 6 (209): 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-12-21. (In Russ.)
18. La Canne C. E., Lundgren J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*. 2018; 6: e4428. DOI: 10.7717/peerj.4428.

Authors' information:

Aleksandr A. Dubovitskiy, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics and commerce, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia; ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247. *E-mail: daa1-408@yandex.ru*

Elvira A. Klimentova, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics and commerce; Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia; ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886. *E-mail: klim1-408@yandex.ru*

Исследование влияния изменений налогового законодательства на поступление платежей в бюджет от предприятий сельскохозяйственной отрасли

В. В. Калицкая¹, Л. А. Степанова^{1,2}, О. А. Рыкалина¹, Е. М. Кот³✉

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: ktekaterina@rambler.ru

Аннотация. Цель – провести анализ изменений налогового законодательства, принятых в разгар пандемии COVID-19, экономических санкций 2022 года и оценить их влияние на такие экономические показатели предприятий сельскохозяйственной отрасли, как выручка, налоговые платежи в бюджет. **Методы.** На основе открытых данных Росстата, Федеральной налоговой службы Российской Федерации и Министерства сельского хозяйства Российской Федерации собран статистический материал и составлены динамические ряды за период 2019–2022 гг. по параметрам, характеризующим хозяйственную деятельность предприятий сельскохозяйственной отрасли. Изучены и проанализированы изменения законодательства в системе налогообложения, принятые в качестве краткосрочных и долгосрочных антикризисных мер, экономической поддержки бизнеса в условиях восстановления экономики после пандемии и беспрецедентных санкций, введенных с 2022 года. Проведен анализ изменений объема производства созданных и прекративших деятельность предприятий сельскохозяйственной отрасли и динамики поступления платежей в бюджет по видам бюджетов. Рассчитаны абсолютные и относительные показатели, характеризующие тенденцию изменений за анализируемый период. **Результаты.** На основе проведенного исследования представлены выводы о масштабах влияния изменений, внесенных в налоговое законодательство, на работу предприятий сельскохозяйственной отрасли. Дана оценка эффективности принятых мер поддержки предприятий для обеспечения налоговых поступлений в бюджет. **Научная новизна.** В данном исследовании впервые изучена взаимосвязь изменений налогового законодательства и размера поступлений налоговых платежей в условиях экономических санкций и ослабления внутреннего рынка для производителей сельскохозяйственной продукции. Сформулированы выводы, позволяющие в некоторой степени оценить качество изменений в области налогового законодательства, которые выбраны как приоритетные для снижения кризисных явлений за период 2019–2022 годы.

Ключевые слова: налоги, изменения, законодательство, экономика, санкции, динамика, структура, поступления, эффективность, бюджет

Для цитирования: Калицкая В. В., Степанова Л. А., Рыкалина О. А., Кот Е. М. Исследование влияния изменений налогового законодательства на поступление платежей в бюджет от предприятий сельскохозяйственной отрасли // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 392–403. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-392-403>.

Дата поступления статьи: 22.08.23, **дата рецензирования:** 18.10.2023, **дата принятия:** 20.11.2023.

Investigation of the impact of changes in tax legislation on the receipt of payments to the budget from agricultural enterprises

V. V. Kalitskaya¹, L. A. Stepanova^{1,2}, O. A. Rykalina¹, E. M. Kot³✉

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

² Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

³ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: ktekaterina@rambler.ru

Abstract. The purpose is to analyze changes in tax legislation adopted at the height of the COVID-19 pandemic, economic sanctions of 2022 and to assess their impact on such economic indicators of agricultural enterprises as revenue, tax payments to the budget. **Methods.** Based on open data from Rosstat, the Federal Tax Service of the Russian Federation and the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, statistical material has been collected and dynamic series for the period 2019–2022 have been compiled according to parameters characterizing the economic activity of agricultural enterprises. The changes in legislation in the taxation system adopted as short-term and long-term anti-crisis measures, economic support for business in the conditions of economic recovery after the pandemic and unprecedented sanctions imposed since 2022 have been studied and analyzed. The analysis of changes in the volume of production of established and discontinued agricultural enterprises and the dynamics of receipt of payments to the budget by type of budgets is carried out. Absolute and relative indicators characterizing the trend of changes over the analyzed period are calculated. **Results.** Based on the conducted research, conclusions are presented on the extent of the impact of changes made to the tax legislation on the work of agricultural enterprises. An assessment of the effectiveness of the measures taken to support enterprises to ensure tax revenues to the budget is given. **Scientific novelty.** In this study, for the first time, the relationship between changes in tax legislation and the amount of tax receipts in the conditions of economic sanctions and the weakening of the domestic market for agricultural producers is studied. Conclusions are formulated that allow to assess to some extent the quality of changes in the field of tax legislation, which are selected as priorities for reducing crisis phenomena for the period 2019–2022.

Keywords: taxes, changes, legislation, economy, sanctions, dynamics, structure, revenue, efficiency, budget

For citation: Kalitskaya V. V., Stepanova L. A., Rykalina O. A., Kot E. M. Investigation of the impact of changes in tax legislation on the receipt of payments to the budget from agricultural enterprises. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 392–403. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-392-403>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.08.23, **date of review:** 18.10.2023, **date of acceptance:** 20.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

С 2014 года и по настоящее время в экономике России происходит глобальная трансформация, в результате которой значительно меняется структура секторов экономики. В частности, изменения усугубила пандемия COVID-19, в результате которой были закрыты границы для перемещения сырья, товаров в режиме экспорт-импорт. По данным Министерства экономического развития Российской Федерации, представленном в докладе «Итоги внешнеэкономической деятельности Российской Федерации в 2020 году и I полугодии 2021 года», стоимостной объем мирового товарного экспорта сократился в 2020 г. на 7,5 %, а Российского – на 20,6 % [1]. Достаточно большая часть предприятий вынужденно сократила или во-

обще прекратила свою деятельность. При этом одновременно увеличились расходы государства на здравоохранение, социальную поддержку населения и отдельных отраслей экономики. По данным Министерства финансов Российской Федерации в отчете по итогам исполнения Федерального бюджета и бюджетов бюджетной системы Российской Федерации за 2020 год указано, что увеличение расходов на финансирование антикризисных программ потребовало существенного расширения дефицита федерального бюджета. Его размер по итогам 2020 года составил 3,8 % ВВП [2].

В целях стабилизации сложившейся негативной ситуации Правительством Российской Федерации были предприняты различные меры по борьбе с коронавирусной инфекцией и поддержкой эконо-

мики, в том числе и связанные с обязательствами бизнеса своевременно и в полном объеме перечислять налоги (сборы) в бюджетную систему РФ [3]. Большая часть предложенных мер была связана со снижением налоговой нагрузки на отдельные виды бизнеса и отсрочкой (рассрочкой) налоговых платежей, страховых взносов. Отдельные изменения носили краткосрочный, временный характер, но имели место и изменения, которые в дальнейшем были дополнены или уточнены в связи с новыми вызовами, появившимися с 2022 года с введением экономических санкций против России по результатам признания независимости Луганской и Донецкой республик. Только за 2,5 месяца было принято более 10 тысяч ограничений [4]. Санкции ударили прежде всего по внешнеэкономической деятельности. Одномоментное появление практически неразрешимых проблем с поступлением валютной выручки сопровождалось «заморозкой» валютных активов.

Для того чтобы минимизировать последствия введенных санкций и не допустить кризиса в экономике страны, Правительство РФ было вынуждено в марте 2022 года экстренно разработать и утвердить новые меры налоговой поддержки бизнеса и граждан с учетом ранее введенных с 2020 года [5; 6].

Налоговая система России в целом за последние годы подвержена реформированию. В частности, разрабатываются и внедряются альтернативные формы налогообложения, обусловленные прежде всего внедрением новых цифровых технологий, позволяющих автоматизировать не только налоговый учет на предприятиях, но и процесс проверки перечисления налоговых платежей в бюджет и внебюджетные фонды, а также представленных данных в налоговой отчетности [7; 8].

Проблемам ведения налогового учета предпринимателями и налогового администрирования уделяется достаточно большое внимание. Исследованием изменений, вносимых в Налоговый кодекс Российской Федерации, активно занимаются такие ученые, как И. Е. Лазарева, В. Е. Шумилина, А. В. Зимовец, Ю. В. Сорокин, А. В. Ханина и др. [9–11]. Исследования являются основанием для обобщения и систематизации влияния различных факторов влияющих на изменения в налоговой сфере обусловленных влиянием санкций и иных негативных явлений в экономике.

Какое влияние оказали изменения, внесенные в налоговое законодательство за период 2020–2022 гг. на поступление платежей в бюджет и, в частности, для предприятий сельскохозяйственной отрасли? Каким образом принятые меры повлияли на такие показатели деятельности предприятия, как объем производства и налоговая нагрузка?

Для исследования выбрана отрасль, связанная с агропромышленным сектором, – сельское хозяй-

ство, так как для благополучия и жизнедеятельности любой страны продовольственная безопасность имеет первостепенное значение, так как в большинстве случаев ставят знак равенства между продовольственной и экономической безопасностью страны. Кроме того, в отличие от иных отраслей экономической деятельности для России особое значение имеет экспорт агропродовольственной продукции. Даже в ковидный и постковидный периоды экспорт продовольствия имел положительную динамику за счет увеличения мирового спроса и цен, повышенного качества и конкурентоспособности Российских сельскохозяйственных товаров. Санкции 2022 года нанесли значительный удар именно по данному сектору экономики и прежде всего его экспортной составляющей [12; 13]. Потребовалась государственная поддержка, в том числе и за счет изменений налогового законодательства, необходимая для обеспечения занятости населения, повышения объемов производства в целях недопущения снижения качества уровня жизни населения и социальной напряженности. Однако меры государственной поддержки производителей сельскохозяйственной продукции в силу ограниченности свободных финансов имели неоднородный эффект от их внедрения [13; 14].

Цель данного исследования – оценить влияние принятых Правительством Российской Федерации изменений в сфере налогового законодательства за период 2020–2022 гг., которые были введены для минимизации последствий экономического кризиса, спровоцированного COVID-19 и международными санкциями 2022 года.

Основные задачи исследования:

- проведение анализа изменений налогового законодательства за период 2019–2022 гг., принятых в качестве антикризисных мер;
- проведение анализа изменений поступлений платежей в бюджет и внебюджетные фонды предприятиями сельскохозяйственной отрасли;
- оценка масштаба и эффективности принятых антикризисных мер;
- формулирование выводов и рекомендаций по итогам исследования.

Актуальность исследования заключается в необходимости оценки эффективности мер, применяемых Правительством России в части изменений налогового законодательства.

Методология и методы исследования (Methods)

Для исследования авторы использовали общепринятые, общенаучные методы: сравнительный, логический, статистический анализ.

Период, за который проводилось исследование: с 2019 г. по 2022 г.

Для анализа и сравнения использованы отдельные показатели хозяйственной деятельности предприятий сельскохозяйственного сектора экономики, в частности:

1) статистические данные объема производства: РОССТАТ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Министерство экономического развития Российской Федерации [15; 16];

2) статистические и аналитические данные Федеральной налоговой службы Российской Федерации (далее по тексту – ФНС РФ) по суммам обязательных платежей в бюджет и внебюджетные фонды [17];

3) нормативные законодательные акты, принятые и утвержденные для исполнения как на федеральном, так и на региональном уровне в качестве антикризисных мер [17; 18].

Выбор показателей для сравнения основан на возможности отследить динамику изменения и взаимосвязь величины валового дохода, характеризующего эффективность деятельности предприятия с размером обязательных налоговых платежей в бюджет.

Результаты (Results)

Налоги и сборы являются основой доходной части бюджета государства, региона или муниципального образования. Следовательно, от того, как своевременно и в каких объемах пополняется соответствующий бюджет, зависит возможность исполнения органами государственной власти своих социальных обязанностей. Налоговым кодексом РФ установлено, что налоги – это обязанность хозяйствующих субъектов безвозмездно поделить частью прибыли или дохода. Любые изменения в экономике, как правило, непосредственно влияют на размер таких обязательств – платежей в бюджет.

Изменения в сфере налогообложения, как правило, связаны с необходимостью обеспечить стабильные поступления в бюджет, позволяющие в полной мере исполнять все обязательства государства. В связи с этим Правительство РФ и Министерство финансов РФ постоянно пытаются решить одновременно ряд задач, которые иногда являются взаимоисключающими. Например, увеличить поступления налоговых платежей в бюджет, при этом чтобы бизнес не препятствовал и не уходил в тень, скрывая свои доходы для целей налогообложения. Одновременно ставится задача по снижению затрат на налоговое администрирование, при этом качество налогового администрирования, включая налоговые проверки, должно постоянно повышаться.

В исследуемом периоде можно выделить два периода по принятию мер поддержки бизнеса и экономики в целом. Первый пришелся на 2019 год, и все мероприятия были связаны со снижением негативных последствий пандемии COVID-19. Второй связан с введением глобальных экономических санкций, введенных в марте 2022 года.

На основе открытых данных сайта Правительства Российской Федерации с учетом изменений и дополнений по состоянию на 01.07.2023 г. действующими являются следующие меры [3]:

1 Меры, предназначенные для поддержки сельскохозяйственных предприятий:

1.1. Постановление от 8 сентября 2022 года № 1580 «Защита внутреннего рынка продовольствия», которым предусмотрен временный запрет на экспорт семян рапса. Предполагается, что данная мера позволит увеличить загрузку отечественных предприятий, производящих рапсовое масло, и обеспечить отрасль животноводства продуктами переработки этой масличной культуры.

1.2. Постановление от 26 февраля 2022 года № 235 «Стабилизация цен на сельхозпродукцию», которым расширен перечень случаев использования резервов государственного фонда для стабилизации внутренних цен на сельхозпродукцию, в том числе сахар. Согласно данному постановлению, государство должно закупать продукцию у сельхозпроизводителей, когда цены на рынке низкие, а в случае заметного значительного роста цен предполагается производить продажи, тем самым стабилизируя ситуацию на рынке.

1.3. Распоряжение от 19 мая 2022 года № 1234-р «Создание селекционно-племенного птицеводческого комплекса», который должен быть построен в Подмосковье для обеспечения российских птицефабрик отечественными мясными породами кур для того, чтобы преодолеть зависимость птицеводов от импорта племенного материала.

1.4. Постановления от 16 марта 2022 года № 375, от 17 марта 2022 года № 393, от 18 марта 2022 года № 532-р, от 18 марта 2022 года № 534-р «Льготные кредиты компаниям АПК, промышленности и торговли», которыми определены меры поддержки системообразующих организаций, оказавшихся в сложной ситуации из-за санкций. Предполагается, что предприятия смогут получить займы по льготной ставке на поддержание текущей деятельности.

1.5. Распоряжение от 25 марта 2022 года № 616-р «Субсидирования железнодорожных перевозок сельскохозяйственной продукции по льготным тарифам».

1.6. Постановление от 3 марта 2022 года № 280 «О кредитных каникулах для аграриев и пролонгации сроков льготных кредитных договоров», согласно которому сельхозпроизводители получили право полугодичной отсрочки платежей по льготным инвестиционным кредитам, срок договоров по которым истекает в 2022 году.

2. Меры общего назначения, связанные со снижением финансовой, налоговой нагрузки и налогового контроля:

2.1. Постановление от 15 июня 2022 года № 1068 «Об отсрочке страховых взносов по уплате страховых взносов за II–III кварталы 2022 года». Данное постановление предусмотрено для предприятий, осуществляющих определенные виды деятельности.

2.2. Постановление от 30 марта 2022 года № 512 «Продление срока уплаты налога по УСН», согласно которому срок уплаты налога по упрощенной системе налогообложения за 2021 год и I квартал 2022 года для индивидуальных предпринимателей и организаций из отдельных отраслей экономики продлевается на шесть месяцев с последующей рассрочкой в течение полугода.

2.3. Постановление от 25 марта 2022 года № 470 «Продление срока уплаты авансового платежа по налогу на прибыль», согласно которому предприятия получили возможность откорректировать сумму платежа с учетом реальных итогов работы за I квартал и тем самым не отвлекать излишние деньги из оборота.

2.4. Постановление от 1 июля 2022 года № 1181 «Обнуление ставки НДС для гостиничного бизнеса», согласно которому установлена нулевая ставка НДС на 5 лет в отношении услуг по предоставлению мест для временного проживания в гостиницах и иных средствах размещения.

2.5. Постановление от 27 мая 2022 года № 956 «Перечень оборудования, ввоз которого освобождается от налога на добавленную стоимость (НДС)».

2.6. Указ Президента РФ от 02.03.2022 №83 (ред. От 04.09.2023) «О мерах по обеспечению ускоренного развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации» предусматривает освобождение IT-компаний от налога на прибыль организаций, согласно которому IT-компании, которые ранее платили налог на прибыль по ставке 3 %, полностью освободят от уплаты налога на прибыль в 2022–2024 годах, что предполагает снизить затраты на услуги, которые такие компании оказывают бизнесу в сфере финансовых, информационно-консультационных услуг.

2.7. Постановление от 10 марта 2022 года № 336 «Мораторий на проведение проверок предприятий и предпринимателей», согласно которому предусмотрен запрет на проведение до конца 2022 года плановых выездных налоговых проверок.

Все вышеперечисленные изменения – это лишь небольшая часть мер, предпринятых Правительством РФ, которые непосредственно связаны с такой важной отраслью, как сельское хозяйство [17].

Интерес представляет исследование влияния, взаимосвязи введенных налоговых изменений на поступление налоговых поступлений в консолидированный бюджет Российской Федерации в целом и по отдельным поступлениям предприятий, относящихся к сельскохозяйственной отрасли как отрасли определяющей продовольственную безопасность страны. Оценить качество введенных налоговых изменений достаточно сложно. Однако открытые данные государственных учреждений позволяют провести анализ по отдельным показателям, таким как поступления налогов и сборов в бюджет; регистрация новых предприятий или ликвидация работающих. Предполагается, что итоги исследования позволят косвенно оценить своевременность и результативность предложенных правительством мер поддержки предпринимателей в период экономического кризиса 2019–2022 гг.

В исследовании не учитывались изменения конъюнктуры рынка, продовольственная инфляция и иные малозначительные факторы, которые в той или иной степени также оказали влияние на экономические показатели предприятий сельскохозяйственной отрасли. Это вопросы для отдельного исследования.

На сайте ФНС России в разделе «Налоговый портал» в открытом доступе регулярно размещается информация:

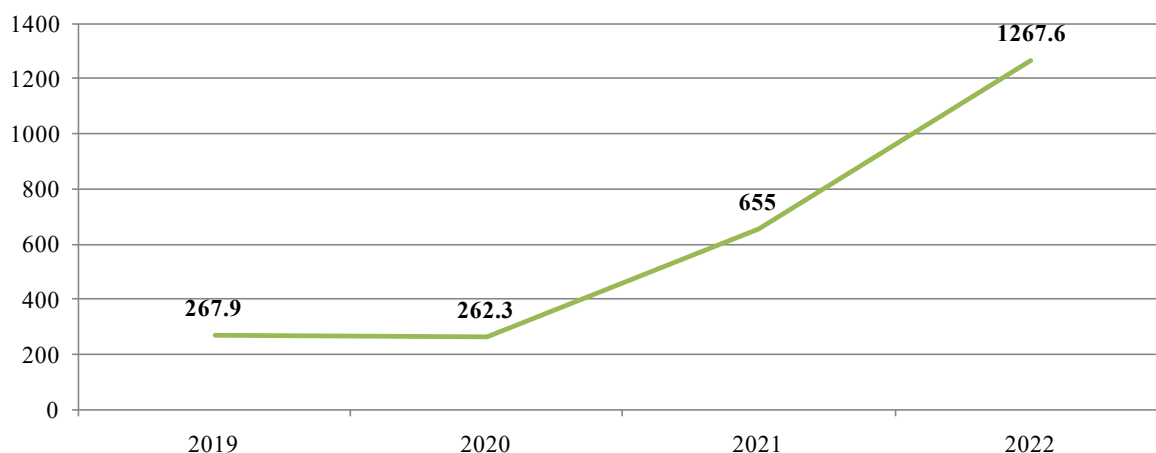


Рис. 1. Динамика выручки организаций, зарегистрированных в ЕГРЮЛ за период 2019–2022 гг. (трлн руб.)

Источник: рассчитано авторами по данным <https://analytic.nalog.gov.ru>

Fig. 1. Dynamics of revenue of organizations registered in the Unified State Register of Legal Entities for the period 2019–2022 (trillion rubles)

Source: calculated by the authors according to <https://analytic.nalog.gov.ru>

- по налоговым поступлениям в бюджеты различных уровней (федеральный, консолидированный, бюджеты государственных и внебюджетных фондов);

- налоговые индикаторы экономики (выручка и прибыль организаций, количество зарегистрированных организаций, ИП, субъектов МСП, самозанятых);

- индикаторы налоговой системы (рейтинги, фискальная нагрузка, отдельные налги);

- индикаторы деятельности ФНС России (исполнение федерального бюджета, результаты выездных проверок, налоговый разрыв по НДС и т. д.);

- статистическая налоговая отчетность (формы 1-НМ, 1-НОМ, 1-ЮР, 1-ИП, 2-НК) [18].

Основными индикаторами экономики являются данные по количеству и динамике выручки, полученной хозяйствующими субъектами и сумме прибыли как финансового результата по итогам деятельности.

На рис. 1 представлена динамика изменения выручки (дохода), полученной всеми организациями, зарегистрированными в ЕГРЮЛ за период 2019–2022 гг.

Расчет данных по выручке (по доходам) произведен на основании формы отчетности ФНС РФ № 5-П «О налоговой базе и структуре начислений по налогу на прибыль организаций». Информация в данной отчетности представляет совокупность всех доходов организации без учета расходов хозяйствующего субъекта.

На основе представленных на рис. 1 данных можно сделать вывод, что с 2019 по 2020 год выручка организаций незначительно снизилась на 2,07 % и составила в 2020 году 262,3 трлн руб. Однако по итогам 2021 года выручка (доходы), полученная организациями, увеличились в 2,5 раза относительно 2020 года, и составила 655 трлн руб. В 2022 году выручка также значительно (на 93,59 %) увеличилась и по итогу года составила практически 1,3 квдрлн руб. И если увеличение выручки в 2022 году объясняется в основном увеличением выпуска продукции оборонного назначения, то рост по итогу 2021 года косвенно можно связывать с введением определенных преференций, льгот и освобождений именно в налоговой сфере, так как снижение расходов по налоговым платежам является одной из причин стимулирования предпринимательской деятельности.

В таблице 1 представлены данные по исследованию количества хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность в анализируемом периоде, обязанных уплачивать законно установленные налоги с разбивкой по форме регистрации.

На основе представленных в таблице 1 данных можно сделать вывод, что изменение количества хозяйствующих субъектов, зарегистрированных в

форме юридического лица, за весь анализируемый период имело негативную тенденцию. Количество юридических лиц уменьшилось на 8,23 % в 2020 году относительно 2019 года, на 4,72 % в 2021 году к 2020 году, а в 2022 году снижение составило 2,34 %. По состоянию на 01.01.2023 г. количество организаций – юридических лиц составляло 3,198 млн. Таким образом, в анализируемом периоде наблюдается резкое снижение деловой активности именно по форме регистрации хозяйствующего субъекта – юридического лица.

В соответствии с нормами действующего налогового законодательства предпринимательская деятельность может быть зарегистрирована в форме не только юридического лица, но и индивидуального предпринимателя. В частности, для предприятий, осуществляющих деятельность в сельскохозяйственной отрасли, такая форма регистрации достаточно широко распространена.

Анализ по количеству налогоплательщиков, представивших заявление на государственную регистрацию в качестве индивидуального предпринимателя, в анализируемом периоде показал неоднозначную тенденцию. С 2019 года по 2020 год наблюдается незначительное снижение количества регистрации индивидуальных предпринимателей: с 4040 тысяч до 3696 тысяч, или на 8,52 %. В последующие 2021 и 2022 годы наблюдается положительная динамика, обусловленная ростом количества зарегистрированных предпринимателей: на 9 тысяч в 2021 году и на 166 тысяч в 2022 году относительно 2021 года.

Особое внимание в России уделяется предприятиям, относящимся к субъектам малого и среднего предпринимательства. Считается, что такие предприятия более мобильны, быстрее переходят на новые виды деятельности и предназначены для обеспечения потребностей населения, физических лиц. ФНС РФ ведет отдельный реестр таких предприятий, и анализ по количеству субъектов малого и среднего предпринимательства в анализируемом периоде показал, что, хотя и имела место неоднозначная тенденция, в отдельные периоды наблюдался рост, а в отдельные – снижение, но количество таких предприятий практически находилось на уровне 6 млн.

Особо следует выделить относительно новый вид регистрации по специальному налоговому режиму «Налог на профессиональный доход», или самозанятость. Данный режим повсеместно был введен с 2019 года и галопирующими темпами осуществлял прирост количества с 2020 года по 2022 год. Так, в 2019 году таких налогоплательщиков было зарегистрировано только 338 тысяч, а уже в 2020 году – 2 млн. По итогам 2022 года на учете числилось уже 6,5 млн предпринимателей, применяющих такой специальный режим.

Таблица 1

Динамика изменения количества предприятий, зарегистрированных ФНС РФ по различным формам, осуществляющих коммерческую деятельность за период 2019–2022 гг.

Показатель	Исследуемый период (год)			
	2019	2020	2021	2022
Количество организаций, зарегистрированных в Едином государственном реестре юридических лиц (ЕГРЮЛ) по состоянию на 1-е число месяца (тыс. ед.)	3745	3437	3274	3198
Количество физических лиц, которые представили заявление на государственную регистрацию в качестве индивидуальных предпринимателей и записи о которых внесены в Единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей (ЕГРИП) по состоянию на 1-е число месяца (тыс. ед.)	4040	3696	3705	3871
Количество организаций и индивидуальных предпринимателей в Едином реестре субъектов малого и среднего предпринимательства по состоянию на 10-е число месяца (тыс. ед.)	5917	5685	5867	5991
Самозанятые граждане – физические лица, в том числе индивидуальные предприниматели, перешедшие на специальный налоговый режим «Налог на профессиональный доход» (тыс. ед.)	338	2000	4000	6561

Источник: рассчитано авторами по данным <https://analytic.nalog.gov.ru>.

Table 1

Dynamics of changes in the number of economic entities registered by the Federal Tax Service of the Russian Federation under various forms engaged in commercial activities for the period 2019–2022

Indicator	Study period (year)			
	2019	2020	2021	2022
Number of organizations registered in the Unified State Register of Legal Entities (USRLE) as of the 1st day of the month (thousand units)	3745	3437	3274	3198
The number of individuals who have submitted an application for state registration as individual entrepreneurs and whose records are entered in the Unified State Register of Individual Entrepreneurs (USRIE) as of the 1st day of the month (thousand units)	4040	3696	3705	3871
The number of organizations and individual entrepreneurs in the Unified Register of Small and Medium Enterprises as of the 10th day of the month (thousand units).	5917	5685	5867	5991
Self-employed citizens are individuals, including individual entrepreneurs, who have switched to a special tax regime “Tax on professional income” (thousand units)	338	2000	4000	6561

Source: calculated by the authors according to <https://analytic.nalog.gov.ru>.

Если обобщить данные, представленные в таблице 1 и на рис. 1 можно констатировать, что принятые меры по стабилизации негативных последствий 2019 и 2022 года, предпринятые Правительством для поддержания предпринимателей, сработали достаточно эффективно. Да, имеет место негативная тенденция к снижению количества предприятий, зарегистрированных по форме юридического лица, но в совокупности с данными, представленными на рис. 2, можно сделать заключение, что с уменьшением количества предприятий выручка (предпринимательский доход) не уменьшилась, а, наоборот, значительно выросла.

Основная обязанность предпринимателей любой формы регистрации – платить законно установленные налоги, которые являются одним из источников дохода бюджета.

Проведем анализ изменений налоговых поступлений в бюджет от предприятий в целом и от предприятий сельскохозяйственной отрасли.

На рис. 2 представлена динамика налоговых поступлений за период 2019 по 2022 годы по всем

предприятиям, осуществляющим предпринимательскую деятельность.

На основе представленных на рис. 2 данных можно сделать следующий вывод.

С учетом того, что в четвертом квартале 2019 года весь мир, в том числе и Россия, столкнулись с беспрецедентным вызовом – пандемией COVID-19, по итогам года налоговые поступления выросли на 6,6 % и составили 22,7 трлн руб. относительно предшествующего года. Но уже по итогам 2020 года определена тенденция к снижению налоговых поступлений на 7,58 %, или на 1,7 трлн руб. По итогам 2021 года налоговые платежи в бюджет увеличились до 28,5 трлн руб., или на 35,77 % относительно 2020 года. Несмотря на полномасштабные санкции, объявленные западными странами в марте 2022 года, положительная динамика сохранилась и по итогам 2022 года. Рост налоговых поступлений составил 5,1 трлн. руб. относительно 2021 года, или 17,7 %. Данная тенденция подтверждается анализом динамики выручки, представленной на рис. 1.

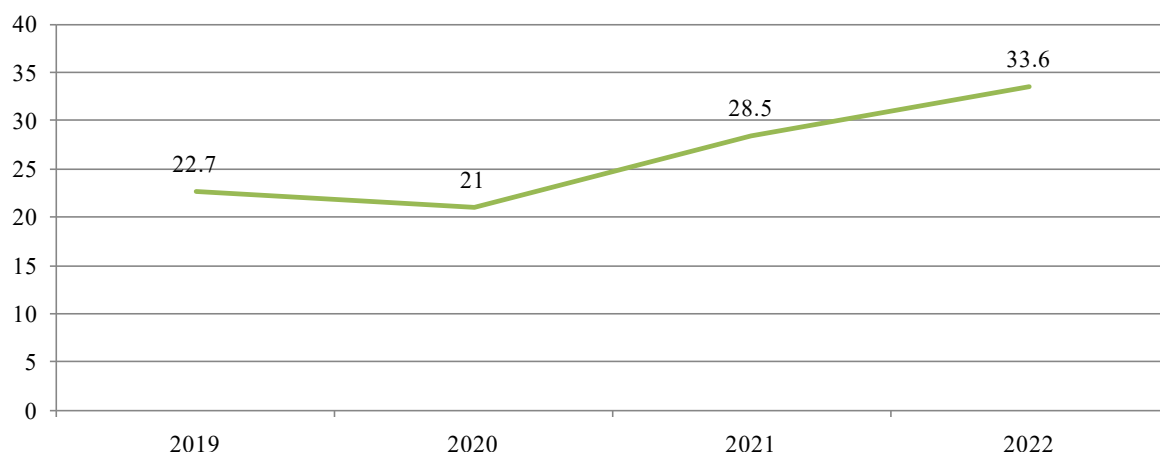


Рис. 2. Динамика налоговых поступлений в бюджет Российской Федерации за период 2019–2022 гг. (трлн руб.)

Источник: рассчитано авторами по данным <https://analytic.nalog.gov.ru>

Rice. 2. Dynamics of tax revenues to the budget of the Russian Federation for the period 2019–2022. (trillion rubles)

Source: calculated by the authors according to <https://analytic.nalog.gov.ru>

Рассмотрим более детально динамику налоговых платежей в разрезе бюджетов и с учетом экономической деятельности, относящейся к сельскохозяйственной отрасли «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях». Данная деятельность выбрана для отдельного анализа в связи с тем, что она призвана не только обеспечить продовольственную безопасность страны, но и не допускать снижения уровня жизнедеятельности граждан.

Для анализа воспользуемся открытыми источниками, представленными в свободном доступе на сайте ФНС РФ.

На основе данных статистической налоговой отчетности по форме 1-НОМ «Отчет о начислении и поступлении налогов, сборов и страховых взносов в бюджетную систему Российской Федерации по основным видам экономической деятельности» составим таблицу с данными по поступлению платежей в консолидированный бюджет Российской Федерации и поступлений по различным уровням бюджета (федеральный, региональный, местный) за период 2019–2022 гг.

В таблице 2 представлены данные по исследованию изменений налоговых платежей в целом по Российской Федерации с детализацией по уровням бюджета и экономическому виду деятельности.

На основе представленных в таблице 2 данных можно сделать следующие выводы:

1. Удельный вес налоговых платежей предприятиями, осуществляющими деятельность в сфере сельского хозяйства, в частности растениеводства и животноводства, за весь анализируемый период составлял от 0,41 до 0,47 % от общей суммы поступлений платежей в консолидируемый бюджет Российской Федерации.

2. Динамика поступлений в анализируемом периоде имела разнонаправленный характер. С 2019

по 2021 год наблюдался незначительное снижение поступлений с 90,52 млн руб., до 80,34 млн руб., или на 10,18 млн руб. Однако по итогам 2021 года поступления выросли в 1,6 раза и составляли на конец 2021 года 129,61 млн руб. В 2022 году положительная динамика продолжалась, что привело к росту платежей в бюджет до 135,28 млн руб., или рост относительно 2021 года на 4,5 %.

3. Поступления налогов в федеральный бюджет предприятиями по виду деятельности «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях» занимают наибольшую долю во всех налоговых поступлениях – это от 66 % до 74 % за весь анализируемый период. Динамика поступлений имеет неоднородный характер. За период 2019 по 2020 год тенденция имела отрицательную динамику, в 2020 году произошло значительное снижение, в 2022 году – значительный рост практически в 1,6 раза, но по итогам 2022 года опять наметилась тенденция по снижению налоговых платежей. Данный вывод можно рассматривать в контексте с данными таблицы 1, в которой приведены сведения о количестве предприятий, зарегистрированных в качестве плательщиков налогов и сборов. Из данных таблицы видно, что имеет место тенденция к снижению количества налогоплательщиков – юридических лиц, которые в большей части пополняют федеральный бюджет, так как в основном начисляют и перечисляют такие налоги, как налог на добавленную стоимость и налог на прибыль организаций, формирующих федеральный бюджет. Из таблицы 1 также видно, что количество индивидуальных предпринимателей и физических лиц – самозанятых в анализируемом периоде, наоборот, постоянно растет. Налогоплательщики, имеющие такую форму регистрации, как правило, применяют специальные налоговые режимы, пополняющие в основном ре-

гиональный и местный бюджеты. Данные таблицы 2 подтверждают, что по суммам налогов, предусмотренных специальными налоговыми режимами, за весь анализируемый период имела место положительная динамика.

4. Анализ поступлений в региональный и местный бюджеты показал, что за весь анализируемый период отчисления, несмотря на небольшие колебания, имели примерно постоянные размеры. Относительно платежей, связанных с применением специальных налоговых режимов, имеет место однозначно положительная динамика. И если в 2019 году такие платежи составляли 12,91 млн руб., то по итогам 2022 года произошел рост в 1,7 раза до 21,32 млн руб.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На основании проведенного исследования можно сделать некоторые выводы, позволяющие косвенно оценить эффективность налоговых изменений посредством их влияния на размер налоговых платежей в бюджет предприятиями сельскохозяйственной отрасли:

1. Меры, принятые Правительством Российской Федерации в целях стабилизации негативных явлений, вызванных пандемией 2019 года и финансовыми санкциями, объявленными в 2022 году, позволили избежать падения экономики в целом и финансирования бюджетов разных уровней за счет увеличения поступлений налоговых платежей в анализируемом периоде. Анализ динамики поступления налоговых платежей подтвердил, что в 2020 году имела место негативная ситуация по снижению экономической активности деятельности хозяйствующими субъектами, но она не была критичной, и с 2021 года произошел рост основных индикаторов экономики, а именно выручки (дохода) и прибыли как итогового результата деятельности коммерческого предприятия.

2. Влияние принятых изменений налогового законодательства на отдельные виды экономической деятельности, такие как деятельность в сфере сельского хозяйства, также оказало положительное влияние. Несмотря на некоторое сокращение налоговых платежей в бюджеты разного уровня пред-

Таблица 2

Динамика изменения поступлений налоговых платежей с детализацией по уровням бюджета и виду деятельности «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях» за период 2019–2022гг.

Показатель (млн руб.)	Исследуемый период (год)			
	2019	2020	2021	2022
Поступило платежей в консолидированный бюджет Российской Федерации всего:	22 124	19 804	27 299	33 410
В том числе по виду деятельности "Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях" всего:	90,52	80,34	129,61	135,28
Удельный вес платежей сельскохозяйственной отрасли в общей сумме платежей консолидированного бюджета	0,41 %	0,41 %	0,47 %	0,40 %
Распределение поступлений по уровням бюджета				
Федеральные налоги	63,42	58,65	95,53	86,06
Региональные налоги	13,35	12,29	14,06	14,97
Местные	4,69	4,98	5,81	5,73
Налоги, предусмотренные специальными налоговыми режимами	12,91	13,67	19,49	21,32

Источник: рассчитано авторами по данным <https://analytic.nalog.gov.ru>.

Table 2

Dynamics of changes in tax receipts with details by budget levels and type of activity "Crop and livestock production, hunting and provision of relevant services in these areas" for the period 2019–2022

Indicator (million rubles)	Study period (year)			
	2019	2020	2021	2022
Received payments to the consolidated budget of the Russian Federation total:	22 124	19 804	27 299	33 410
Including by type of activity "Crop and animal husbandry, hunting and provision of relevant services in these areas" total:	90.52	80,34	129,61	135,28
The share of payments of the agricultural sector in the total amount of payments of the consolidated budget	0.41 %	0.41 %	0.47 %	0.40 %
Distribution of revenues by budget levels				
Federal taxes	63.42	58.65	95.53	86.06
Regional taxes	13.35	12.29	14.06	14.97
Local	4.69	4.98	5.81	5.73
Taxes provided for by special tax regimes	12.91	13.67	19.49	21.32

Source: calculated by the authors according to <https://analytic.nalog.gov.ru>.

притиями указанной отрасли в 2020 году, уже в 2021 году наблюдался рост налоговых поступлений по всем уровням бюджетов, который продолжается и в текущее время.

3. В целом оценка эффективности принятых антикризисных мер может быть признана положительной, однако исследование данной проблемы необходимо продолжить с учетом того, что отдельные меры приняты Правительством на краткосрочный период, а санкции продолжают действовать и ужесточаться.

Целью исследования было изучить влияние на экономические показатели предпринимательской

деятельности изменений, внесенных только в налоговое законодательство и только по тем параметрам, которые непосредственно связаны с хозяйственной деятельностью.

Однако в анализируемом периоде достаточно активно изменялась денежно-кредитная политика Центрального банка РФ, проводились определенные мероприятия, связанные с поддержание уровня инфляции, которые также имели определенное влияние на изменение основных экономических показателей. Следовательно, исследование данной проблемы предполагается продолжить.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Министерство экономического развития Российской Федерации «Итоги внешнеэкономической деятельности Российской Федерации в 2020 году и I полугодии 2021 года» [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7cbbc60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_polugodie_2021.pdf (дата обращения: 11.07.2023).
2. Министерство финансов Российской Федерации Исполнение федерального бюджета и бюджетов бюджетной системы Российской Федерации за 2020 год [Электронный ресурс]. URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/03/main/Ispolnenie_2020_god.pdf (дата обращения: 11.07.2023).
3. Меры Правительства РФ по борьбе с коронавирусной инфекцией и поддержке экономики [Электронный ресурс]. URL: http://government.ru/support_measures/category/taxes (дата обращения 11.07.2023).
4. Джураев А. Д., Скляр В. Д., Янковский П. С. Экономические санкции 2022 года в отношении России: принятые решения, последствия и перспективы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 6-1 (88). С. 133–136. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-6-1-133-136.
5. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая): федеральный закон от 05.08.2000 № 117-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://nalog.garant.ru/fns/nk/d08b825e386c7297d2bb2329cf0ce611> (дата обращения: 11.07.2023).
6. COVID-19: Navigating the Legal Challenges [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stewartslaw.com/covid-19-legal-challenges> (дата обращения: 12.07.2023).
7. Калицкая В. В., Рыкалина О. А., Степанова Л. А. Применение современных цифровых технологий для оценки финансового состояния предприятия с использованием ПК 1С: Предприятие // Финансовый бизнес. 2022. № 6 (228). С. 138–141.
8. Современный подход к формированию методологии учетно-аналитической системы коммерческой организации с использованием цифровых технологий / С. Л. Моисеенко, Н. П. Малышева, О. В. Мустафина [и др.]. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. 298 с.
9. Лазарева И. Е., Мина В. Н. Влияние санкционной политики на изменения в налоговом кодексе российской Федерации в 2022 году // Экономика, менеджмент, сервис: современные проблемы и перспективы: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Омск, 2022. С. 314–317.
10. Зимовец А. В., Сорокин Ю. В., Ханина А. В. Комплекс предложений по защите экономики России от санкций стран запада на макро-, мезо- и микроуровне // Экономические отношения. 2022. Т. 12, № 2. С. 195–214.
11. Шумилина В. Е., Герасимик А. А. Влияние санкций на экономику России // Наука и мир. 2022. № 2. С. 21–25. DOI: 10.26526/2307-9401-2022-2-21-25.
12. Ignaciuk A., Ilicic J., Asprooth L., Sitko N. J., Bernard A., Maggio G. Tubiello F. N., Mueller M. Progress towards sustainable agriculture – Drivers of change. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. 102 p. DOI: 10.4060/cb7896en.
13. Шик О. В., Серова Е. В., Янбых Р. Г. Исследование системы бюджетной поддержки аграрного сектора в России // Вопросы государственного и муниципального управления. 2020. № 2. С. 145–167.
14. Светлов Н. М., Янбых Р. Г., Логинова Д. А. О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства // Вопросы экономики. 2019. № 4. С. 59–73. DOI: 10.32609/0042-8736-2019-4-59-73.
15. Статистические издания РОССТАТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> (дата обращения: 11.07.2023).
16. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru> (дата обращения: 11.07.2023).

17. Официальный сайт Федеральной налоговой службы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nalog.gov.ru> (дата обращения: 11.07.2023).

18. Налоговые меры поддержки бизнеса из-за санкций. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.klerk.ru/buh/articles/527702> (дата обращения: 11.07.2023).

Об авторах:

Виктория Вячеславовна Калицкая, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5597-8610, AuthorID 925922. E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru

Людмила Алексеевна Степанова, советник государственной гражданской службы Российской Федерации 2 класса ФНС России, старший преподаватель кафедры экономики, менеджмента, маркетинга и технологического экономического образования, Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия, преподаватель колледжа УрГЭУ, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5172-6635, AuthorID 797757. E-mail: ludmila-stepanov@mail.ru

Ольга Анатольевна Рыкалина, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0000-6839-1237, AuthorID 63117. E-mail: roa40@mail.ru

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: ktekaterina@rambler.ru

References

1. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Results of foreign trade activities of the Russian Federation in 2020 and the first half of 2021 [Internet]. [cited 2023 Jul 11]. Available from: https://www.economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7cbc60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_polugodie_2021.pdf. (In Russ.)

2. The Ministry of Finance of the Russian Federation. Execution of the federal budget and budgets of the budgetary system of the Russian Federation for 2020 [Internet]. [cited 2023 Jul 11]. Available from: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/03/main/Ispolnenie_2020_god.pdf. (In Russ.)

3. The Russian Government. The Government measures for protecting from COVID-19 and supporting economy [Internet]. [cited 2023 Jul 11]. Available from: http://government.ru/support_measures/category/taxes. (In Russ.)

4. Dzhuraev A. D., Sklyar V. D., Yankovskiy P. S. Economic sanctions of 2022 against Russia: decisions taken, consequences and prospects. *Economy and business: theory and practice*. 2022; 6-1 (88): 133–136. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-6-1-133-136. (In Russ.)

5. Tax Code of the Russian Federation (part II): No. 117-FZ Federal Law of 05.08.2000. The Federal Tax Service. Chapter 25. Corporate income tax (art. 246-333) [Internet]. [cited 2023 Jul 11]. Available from: <https://base.garant.ru/10900200/d08b825e386c7297d2bb2329cf0ce611>. (In Russ.)

6. COVID-19: Navigating the Legal Challenges [Internet]. [cited 2023 Jul 11]; Available from: <https://www.stewartslaw.com/covid-19-legal-challenges>.

7. Kalitskaya V. V., Rykalina O. A., Stepanova L. A. Application of modern digital technologies to assess the financial state of an enterprise using PC 1C: Enterprise. *Financial Business*. 2022; 6 (228): 138–141. (In Russ.)

8. A modern approach to the methodology formation of a commercial organization: accounting and analytical system using digital technologies / S. L. Moiseenko, N. P. Malysheva, O. V. Mustafina et al. *Ekaterinburg: Ural State University of Economics*, 2022. 298 p. (In Russ.)

9. Lazareva I. E., Mina V. N. The impact of sanctions policy on changes in the Tax Code of the Russian Federation in 2022. *Economics, Management, Service: modern problems and prospects: materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. Omsk, 2022. Pp. 314–317. (In Russ.)

10. Zimovets A. V., Sorokina Yu. V., Khanina A. V. A set of proposals to protect the Russian economy from Western sanctions at the macro-, meso- and micro-levels. *Journal of International Economic Affairs*. 2022; 12 (2): 195–214. (In Russ.)

11. Shumilina V. E., Gerasimik A. A. The impact of sanctions on Russia's economy. *Science and the world*. 2022; 2: 21–25. DOI: 10.26526/2307-9401-2022-2-21-25. (In Russ.)

12. Ignaciuk A., Ilicic J., Asprooth L., Sitko N. J., Bernard A., Maggio G. Tubiello F. N., Mueller M. Progress towards sustainable agriculture – Drivers of change. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2021: 102. DOI: 10.4060/cb7896en.

13. Shik O. V., Serova E. V., Yanbykh R. G. Review of the Budget Support System for the Agricultural Sector in Russia. *Public Administration Issues*. 2020; 2: 145–167. (In Russ.)
14. Svetlov N. M., Yanbykh R. G., Loginova D. A. On the effects diversity of the state support for agriculture. *Problems of Economics*. 2019; 4: 59–73 DOI: 10.32609/0042-8736-2019-4-59-73. (In Russ.)
15. Federal State Statistics Service [Internet]. [cited 2023 Jul 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>. (In Russ.)
16. Ministry of Agriculture of the Russian Federation [Internet]. [cited 2023 Jul 11]; Available from: <https://mcx.gov.ru>. (In Russ.)
17. The Federal Tax Service [Internet]. [cited 2023 Jul 11]; Available from: <https://www.nalog.gov.ru>. (In Russ.)
18. Tax measures to support business during the period of sanctions. 2022 [Internet]. [cited 2023 Jul 11]; Available from: <https://www.klerk.ru/buh/articles/527702>. (In Russ.)

Authors' information:

Vicktoriya V. Kalitskaya, candidate of economic sciences, associate professor of the department of accounting and auditing, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5597-8610, AuthorID 925922. *E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru*

Lyudmila A. Stepanova, adviser to the state civil service of the Russian Federation, 2nd grade, senior lecturer of the department of economics, management, marketing and technologies of economic education, Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia, lecturer at the Ural State University of Economics College, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5172-6635, AuthorID 797757.

E-mail: ludmila-stepanov@mail.ru

Olga A. Rykalina, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the department of accounting and auditing, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8931-2542, AuthorID 648308. *E-mail: roa40@mail.ru*

Ekaterina M. Kot, doctor of economic sciences, associate professor, head of the department of accounting and audit, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8931-2542, AuthorID 648308. *E-mail: ktekaterina@rambler.ru*

Отраслевое развитие сельских территориальных систем России в условиях современной экономической неопределенности

Л. Е. Красильникова¹✉, О. А. Рущицкая², Д. А. Баландин³, Т. И. Кружкова²

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

²Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия

✉E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Аннотация. Цель исследования – рассмотреть закономерности отраслевого развития сельских территориальных систем в условиях современной экономической неопределенности на примере ряда регионов Российской Федерации. В статье обобщены и интерпретированы результаты работ современных авторов в сфере экономики сельских территорий и аграрного производства, что позволило рассчитать прогнозы развития отраслей сельского хозяйства по Приволжскому федеральному округу и Пермскому краю Российской Федерации на период до 2030 года. **Научная новизна** заключается в осуществленной оценке отраслевого развития агропромышленных территориальных систем посредством исследования динамики основных показателей сельскохозяйственной деятельности с использованием трендового анализа в достаточно не-продолжительный период современной экономической неопределенности, что является существенным шагом вперед в данной области научных изысканий. Для выявления динамики и прогнозирования развития основных отраслей аграрного производства использовались **методы** графического выявления линейной зависимости и построения линейных трендов по однородным статистическим показателям. Основными **результатами** исследования являются выработанные мероприятия для стабильного отраслевого развития сельских территорий Российской Федерации в современных условиях и преодоления сложившейся региональной дифференциации. Реализация мероприятий предусматривает внедрение инновационных решений, обеспечивающих адаптивную реакцию на конъюнктурные тенденции и изменения воздействий внешних факторов в региональном управлении отраслевым развитием сельских территорий. Таким образом, исследование представляет собой основу для понимания компонентов отраслевого развития сельских территорий и позволяет выявлять способы конструктивного решения сложных и многогранных проблем, связанных со стабилизацией аграрного производства. **Практическая значимость** предложенных решений заключается в их востребованности в деятельности органов государственной власти регионов и профильных ведомств в процессах совершенствования управления отраслевого развития сельских территорий в рамках реализации стратегических документов пространственного и отраслевого развития Российской Федерации.

Ключевые слова: отрасли сельского хозяйства, сельские территориальные системы, регион, аграрная продукция, структура аграрного сектора, экономические прогнозы, экономическая неопределенность, устойчивое развитие

Для цитирования: Красильникова Л. Е., Рущицкая О. А., Баландин Д. А., Кружкова Т. И. Отраслевое развитие сельских территориальных систем России в условиях современной экономической неопределенности // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 404–416. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416>.

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с Планом научно-исследовательских работ Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д. Н. Прянишникова, Института экономики Уральского отделения Российской академии наук.

Дата поступления статьи: 21.12.23, **дата рецензирования:** 10.01.2024, **дата принятия:** 21.01.2024.

Sectoral development of rural territorial systems of Russia in conditions of modern economic uncertainty

L. E. Krasilnikova^{1✉}, O. A. Ruschitskaya², D. A. Balandin³, T. I. Kruzhkova²

¹ Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia

✉ E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Abstract. The purpose of the study is to examine the patterns of sectoral development of rural territorial systems in conditions of modern economic uncertainty using the example of a number of regions of the Russian Federation. The results of the work of modern authors in the field of rural economics and agricultural production are summarized and interpreted, which made it possible to calculate forecasts for the development of agricultural sectors in the Volga Federal District and the Perm Territory of the Russian Federation for the period until 2030. The scientific novelty lies in the assessment of the sectoral development of agro-industrial territorial systems, through the study of the dynamics of the main indicators of agricultural activity using trend analysis in a fairly short period of modern economic uncertainty, which is a significant step forward in this area of scientific research. To identify the dynamics and forecast the development of the main sectors of agricultural production, methods were used to graphically identify linear dependence and construct linear trends using homogeneous statistical indicators. The main results of the study are the developed measures for the stable sectoral development of rural areas of the Russian Federation in modern conditions and overcoming the existing regional differentiation. The implementation of measures involves the introduction of innovative solutions that provide an adaptive response to market trends and changes in the influence of external factors in the regional management of sectoral development of rural areas. Thus, the study provides a basis for understanding the components of sectoral development of rural areas and allows us to identify ways to constructively solve complex and multifaceted problems associated with the stabilization of agricultural production. The practical significance of the proposed solutions lies in their relevance in the activities of regional government authorities and relevant departments in the processes of improving the management of sectoral development of rural areas as part of the implementation of strategic documents for the spatial and sectoral development of the Russian Federation.

Keywords: agricultural sectors, rural territorial systems, region, agricultural products, structure of the agricultural sector, economic forecasts, economic uncertainty, sustainable development

For citation: 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 (03): 404–416. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416>. (In Russ.)

Acknowledgements. The work was carried out in accordance with the Research Plan of the Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Date of paper submission: 21.12.23, **date of review:** 10.01.2024, **date of acceptance:** 21.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Сельские территориальные системы отличаются разнообразием пространственной организации и функциональных взаимосвязей, а также дифференциацией по уровню социально-экономического развития, сформировавшейся под длительным воздействием многих факторов. Отрасли аграрной экономики, функционирующие в сельских территориях, обеспечивают самоорганизацию процессов общественного воспроизводства на основе консолидации местных ресурсов и социально-экономических и технологических потенциалов.

Комплементарность ресурсов и потенциалов, в свою очередь, формирует структуру межтерриториальных и межотраслевых взаимодействий, обеспечивающих динамический характер отраслевого развития сельских территорий на основе интеграции и внедрения передовой научной мысли и практического опыта.

Так, Р. Grohmann и Р. Н. Feindt, исследуя аграрные экономические системы, отмечают их способность к самоорганизации в условиях воздействия множества факторов рыночной среды и меняющейся экологической обстановки [1]. L. Christiaensen, Z. Rutledge и J. E. Taylor исследуют государственную поддержку аграрной экономики как важнейший фактор межстрановой дифференциации, приводящей к бедности сельского населения во многих государствах и масштабной миграции иностранных наемных сельскохозяйственных рабочих [2]. В научных работах изучаются причины социально-экономической маргинализации отдельных сельских территорий в достаточно благополучных государствах [3], рассматриваются вопросы взаимоотношений органов государственного управления, руководствующихся канонами неолиберальной политики и самоорганизованным сельским населением [4] в поиске общих путей трансформации аграрных систем [5], включая институты социальных инноваций [6] на региональном и внутрирегиональном уровнях, констатируется отсутствие эвристической основы для комплексного задействования инновационных ресурсов в целях повышения динамики отраслевого развития сельской экономики [7]. Отметим, что пандемия коронавирусной инфекции (COVID-19) вызвала появление целого спектра работ, посвященных функционированию аграрных экономических систем в новых условиях [8].

Подобные проблемы, по мнению С. Daugbjerg и Y. Schwartzman, предопределяют необходимость проведения анализа изменений в аграрной политике в целях выработки нового концептуального видения отраслевого развития [9]. Наряду с отраслевым подходом территориальный подход дает возможность включить в сферу анализа аграрного развития более широкий комплекс переходных процессов, позволяющий запустить преобразовательные меха-

низмы с трансдисциплинарной точки зрения [10], в том числе в региональных и локальных сельских территориальных экономических системах [11].

Таким образом, можно констатировать факт наличия широкого спектра научных взглядов на пути развития сельских территорий. В то же время, как отмечается рядом авторов, научные источники в основном посвящены вопросам стабильного развития и устойчивости сельских территорий [12], а не их трансформации и адаптации к современным условиям [13].

Кроме того, по нашему мнению, остаются недостаточно раскрытыми аспекты функционирования аграрных территориальных систем с позиции их пространственно-отраслевого развития в условиях современной экономической неопределенности. Это требует более глобального изучения и выработки практических решений, не только повышающих экономическую эффективность производственной составляющей развития сельских территорий, но и создающих условия для улучшения качества жизни аграрного населения на стратегическую перспективу.

В настоящей статье мы стремимся углубить понимание закономерностей отраслевого развития сельских территориальных систем в современных условиях с точки зрения аграрной и региональной экономической науки, определяя области их взаимодополняемости и взаимозависимости. Для этого мы провели обзор научной литературы в сочетании с системным и графическим анализом статистических данных, характеризующих отрасли АПК субъектов Российской Федерации, чтобы определить общие закономерности отраслевого развития сельских территорий; обнаружить структурные изменения в аграрной экономике под влиянием факторов современной экономической неопределенности; сформулировать предложения, направленные на повышение эффективности сельскохозяйственного производства; обсудить соответствие примененного оценочного инструментария задачам исследования.

Методология и методы исследования (Methods)

Целью настоящей статьи является исследование динамики отраслевого развития сельских территориальных систем Российской Федерации под влиянием факторов современной экономической неопределенности.

Для достижения цели были определены следующие задачи:

- исследовать и обобщить научные источники, посвященные вопросам развития сельских территорий в разных странах;
- определить факторы современной экономической неопределенности;
- рассмотреть динамику развития отраслей АПК регионов Российской Федерации;
- спрогнозировать отраслевые показатели раз-

вития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года;

– предложить мероприятия для достижения стабильной устойчивости пространственно-отраслевого развития сельских территорий.

Гипотезой настоящего исследования выступает выдвинутое нами предположение о нестабильности структуры отраслевого аграрного производства сельского пространства Российской Федерации и ее регионов в условиях современной экономической неопределенности.

Для достижения цели и задач статьи, а также доказательств выдвинутой гипотезы использовались достаточно широко представленные в научной литературе стандартные методы:

– исследования закономерностей территориального развития [14]. Эти методы используются нами для отражения реального состояния сельской экономики субъектов Приволжского федерального округа Российской Федерации, включая оценку современных переходных процессов и качества управления ими;

– отраслевого развития сельскохозяйственного производства [15] для диагностики натуральных и стоимостных показателей, соответствующих специфике достигнутых результатов в рассматриваемых регионах, а также оценки происходящих структурных изменений;

– графического выявления линейной зависимости и построения линейных трендов по однородным статистическим показателям функционирования основных отраслей сельскохозяйственного производства.

Данные методы позволили авторам рассматривать связи между совокупностями переменных, определять их характер и структуру, что упрощает интерпретацию данных и диаграмм, делает более

наглядным и ясным процедуры оценки. Результаты анализа и прогнозирования дают возможность более эффективно регулировать развитие отраслей сельскохозяйственного производства и уменьшать существующий разрыв между экономической теорией и практикой регионального и отраслевого управления.

Результаты (Results)

Для достижения цели настоящей работы постараемся доказать выдвинутую нами гипотезу о нестабильности структуры отраслевого аграрного производства сельского пространства Российской Федерации и ее регионов в условиях современной экономической неопределенности. Рассмотрим динамику производства основных видов аграрной продукции в России и ее отдельных регионах. В качестве исследуемого объекта нами был выбран Приволжский федеральный округ (ПФО), объединяющий 14 субъектов Российской Федерации, системная значимость которого подтверждается данными приведенными в таблице 1.

Показатели таблицы 1 свидетельствуют о ключевых позициях ПФО в аграрных отраслях экономики России практически по всем основным показателям сельскохозяйственного производства (от 17,7 % до 30,6 % общего объема по стране) по достигнутым результатам 2022 года.

Условия современной экономической неопределенности, которые мы исчисляем с 2014 года, существенным образом повлияли на отраслевую структуру аграрного сектора экономики ПФО (таблица 2).

Приведенные в таблице 2 показатели демонстрируют, что в ПФО в 2022 году по отношению к 2015 году производство в натуральном измерении зерна увеличилось на 95,4 %, мяса скота и птицы – на 74,3 %, молока – на 8,5 %, в то же время уменьшилось производство картофеля на 28,8 %, ово-

Таблица 1
Производство основных видов аграрной продукции в Российской Федерации в 2022 году

Производство аграрной продукции	РФ	ПФО	Доля ПФО в РФ, %
Аграрная продукция, млн руб.	8850,9	2035,5	22,9
Производство зерна, млн т	157,7	36,9	23,4
Производство картофеля, млн т	18,8	4,6	24,5
Производство овощей, млн т	13,5	2,4	17,7
Производство скота и птицы на убой, млн т	16,2	3,5	21,6
Производство молока всех видов, млн т	33,0	10,1	30,6

Источник: составлено авторами на основе данных [16].

Table 1
Production of main types of agricultural products in the Russian Federation in 2022

Production of agricultural products	RF	VFD	Share of the VFD in the RF, %
Agricultural products, m rubles	8850.9	2035.5	22.9
Grain, m t	157.7	36.9	23.4
Potato, m t	18.8	4.6	24.5
Vegetable production, m t	13.5	2.4	17.7
Production of livestock and poultry for slaughter, m t	16.2	3.5	21.6
Production of milk of all types, m t	33.0	10.1	30.6

Source: compiled by the author based on data [16].

щей – на 12,3 %. То есть структура аграрной экономики ПФО изменилась в сторону наращивания производства отрасли животноводства при снижении объемов производства отрасли растениеводства.

Так, аграрный бизнес среагировал на факторы современной экономической неопределенности, к которым можно отнести конъюнктурные изменения рынка, ограничения условий Всемирной торговой организации, санкции недружественных стран против Российской Федерации и ответного эмбарго на импорт ряда продовольственных товаров, рост цен на энергоресурсы и др.

Общепромышленный рост стоимостных показателей аграрных отраслей за рассматриваемый период (без учета инфляционных процессов и клима-

тических колебаний, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур) составил 182,7 %. Графическое построение линейного тренда позволяет при сохранении современных тенденций прогнозировать объем аграрного производства до 2030 года (рис. 1).

Линейная зависимость, графически выраженная на рис. 1, дает возможность предположить о достижении объема аграрного производства ПФО к 2030 году порядка 2716 млрд руб. Отметим, что выбранная нами продолжительность временного периода для отраслевого прогнозирования соответствует временным горизонтам программных документов развития агропромышленного комплекса Российской Федерации.

Таблица 2

Производство основных видов аграрной продукции в Приволжском федеральном округе Российской Федерации в 2015–2022 гг.

Продукция	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (пред.)
Объем производства, млрд руб.	1113,9	1204,8	1194,4	1191,9	1316,9	1460,2	1658,3	2035,5
Зерно, млн т	18,9	24,6	30,6	21,5	22,6	32,2	19,4	36,9
Картофель, млн т	6,5	5,5	5,3	5,7	5,9	4,9	4,5	4,6
Овощи, млн т	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,4	2,4
Скот и птица на убой, млн т	2,0	2,0	2,1	2,1	2,3	2,4	2,4	3,5
Молоко всех видов, млн т	9,3	9,3	9,4	9,4	9,7	10,0	10,0	10,1

Источник: составлено авторами на основе данных [16].

Table 2

Production of main types of agricultural products in Volga Federal District of the Russian Federation in 2015–2022

Products	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (exp.)
Volume of production, b rubles	1113.9	1204.8	1194.4	1191.9	1316.9	1460.2	1658.3	2035.5
Grain, m t	18.9	24.6	30.6	21.5	22.6	32.2	19.4	36.9
Potatoes, m t	6.5	5.5	5.3	5.7	5.9	4.9	4.5	4.6
Vegetables, m t	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.4	2.4
Livestock and poultry for slaughter, m t	2.0	2.0	2.1	2.1	2.3	2.4	2.4	3.5
Everyone's milk species, m t	9.3	9.3	9.4	9.4	9.7	10.0	10.0	10.1

Source: compiled by the author based on data [16].

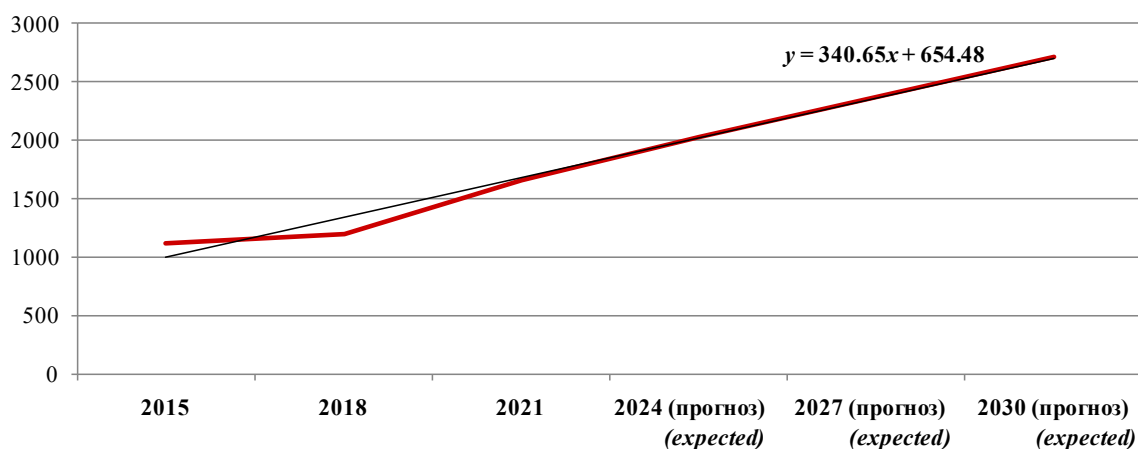


Рис. 1. Прогноз производства аграрной продукции в Приволжском федеральном округе до 2030 года, млн руб.

Источник: рассчитано авторами

Fig. 1. Expected agricultural production in Volga Federal District until 2030, million rubles

Source: calculated by the authors

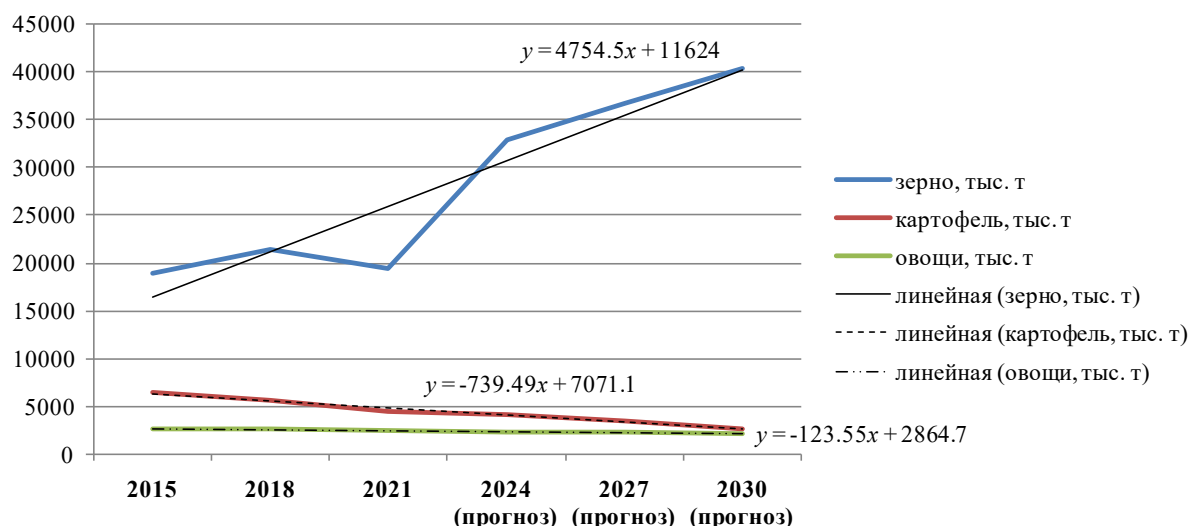


Рис. 2. Прогноз производства продукции отрасли растениеводство Приволжского федерального округа до 2030 года, тыс. тонн

Источник: составлено авторами на основе [16]

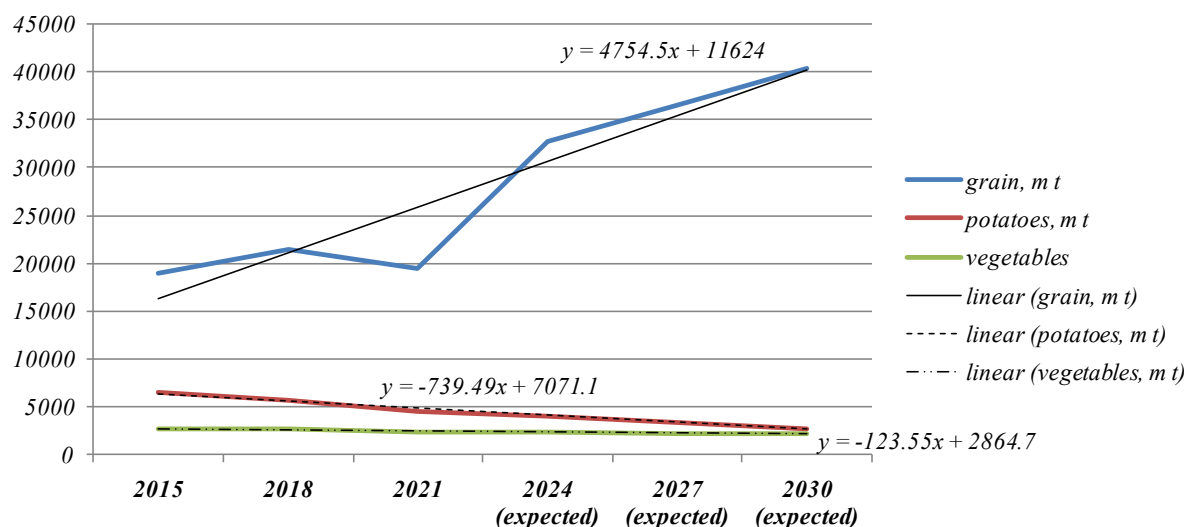


Fig. 2. Expected production of crop production in the Volga Federal District until 2030, thousand tons

Source: calculated by the authors based on [16]

При этом структурные изменения отраслевого развития сельских территорий ПФО разнонаправленно скажутся на ключевых показателях аграрного производства. На рис. 2 графически представлен прогноз производства продукции отрасли растениеводства ПФО до 2030 года.

Рис. 2 иллюстрирует отраслевые структурные изменения и позволяет предположить увеличение производства зерна в ПФО к 2030 году (при сохранении конъюнктуры глобального рынка) до 40 млн тонн, а также продолжающееся снижение производства менее рентабельных овощей и картофеля. Это в первую очередь касается сельскохозяйственных организаций и предприятий, более гибко реагирующих на изменения спроса и предложения. При этом значительная часть объема производства овощей и картофеля, вероятнее всего, будет, как и в настоящее время, выращиваться в личных подсобных хозяйствах населения преимущественно для

собственного потребления. Таким образом, резкого снижения производства овощей и картофеля в ПФО не ожидается.

На рис. 3 графически представлен прогноз производства продукции отрасли животноводство ПФО до 2030 года.

Рис. 3 позволяет предположить незначительное увеличение производства молока в ПФО к 2030 году. Стоит отметить, что, несмотря на существующие тенденции по увеличению надоев на одну корову в ПФО, поголовье крупного рогатого скота продолжает сокращаться, что не позволяет решить одну из стратегических задач обеспечения продовольственной безопасности России и ее регионов. Рост объемов производства мяса также происходит за счет отраслей свиноводства и птицеводства при продолжающемся снижении объемов производства мяса крупного рогатого скота.

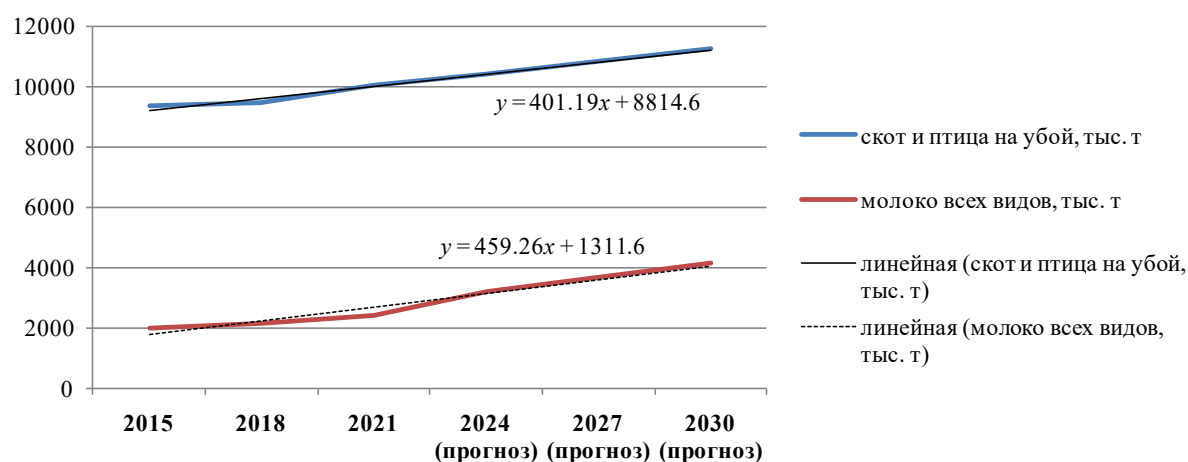


Рис. 3. Прогноз производства продукции отрасли животноводства Приволжского федерального округа до 2030 года, тыс. тонн

Источник: составлено авторами на основе [16]

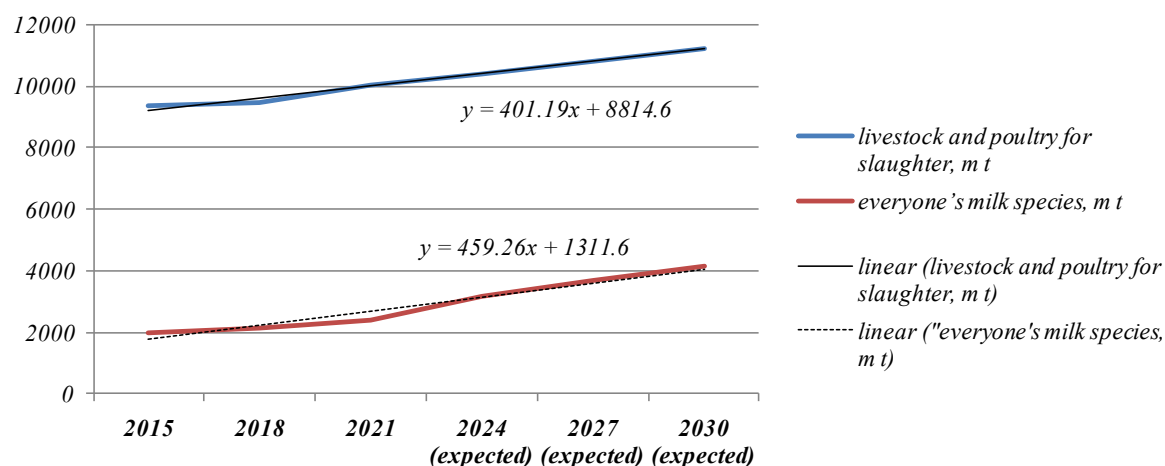


Fig. 3. Expected production in the livestock industry of the Volga Federal District until 2030, thousand tons

Source: calculated by the authors based on [16]

Таблица 3

Производство основных видов аграрной продукции в Пермском крае в 2015–2022 гг.

Производство аграрной продукции	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Аграрная продукция, трлн руб.	40,62	40,04	41,56	44,19	43,23	49,88	56,19	67,40
Производство зерна, тыс. т	303,6	246,9	354,1	371,2	299,8	356,7	257,9	444,2
Производство картофеля, тыс. т	302,0	264,0	201,9	276,0	239,5	261,8	293,3	249,7
Производство овощей, тыс. т	137,1	136,1	138,1	147,0	137,4	140,4	136,8	116,3
Производство скота и птицы на убой, тыс. т	79,3	74,6	71,4	67,7	69,8	66,2	61,0	65,6
Производство молока всех видов, тыс. т	474,7	475,7	483,4	505,4	529,0	547,9	551,1	567,3

Источник: составлено авторами на основе данных [16].

Table 3

Production of main types of agricultural products in the Perm region in 2015–2022

Production of agricultural products	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agricultural products, t rub.	40.62	40.04	41.56	44.19	43.23	49.88	56.19	67.40
Grain production, ths t	303.6	246.9	354.1	371.2	299.8	356.7	257.9	444.2
Potato production, ths t	302.0	264.0	201.9	276.0	239.5	261.8	293.3	249.7
Vegetable production, ths t	137.1	136.1	138.1	147.0	137.4	140.4	136.8	116.3
Production livestock and poultry for slaughter, ths t	79.3	74.6	71.4	67.7	69.8	66.2	61.0	65.6
Production of milk of all types, ths t	474.7	475.7	483.4	505.4	529.0	547.9	551.1	567.3

Source: compiled by the author based on data [16].

Естественно, что примененный подход, основанный на простейших методах экстраполяции и в контексте используемых статистических данных, делает прогноз весьма статичным в среднем темпе прироста. В своих последующих исследованиях мы предполагаем уделить больше внимания оценке факторов, рисков и угроз отраслевого развития АПК для уточнения прогнозных позиций по нескольким сценариям.

Далее рассмотрим процессы отраслевого развития сельских территориально-экономических систем региона на примере Пермского края.

В таблице 3 приведены данные о выпуске основных видов аграрной продукции в Пермском крае в 2015–2022 гг.

По аналогии с ранее применимым подходом по прогнозированию отраслевого развития сельских территорий ПФО оценим перспективы производства аграрной продукции в Пермском крае на период до 2030 года (рис. 4).

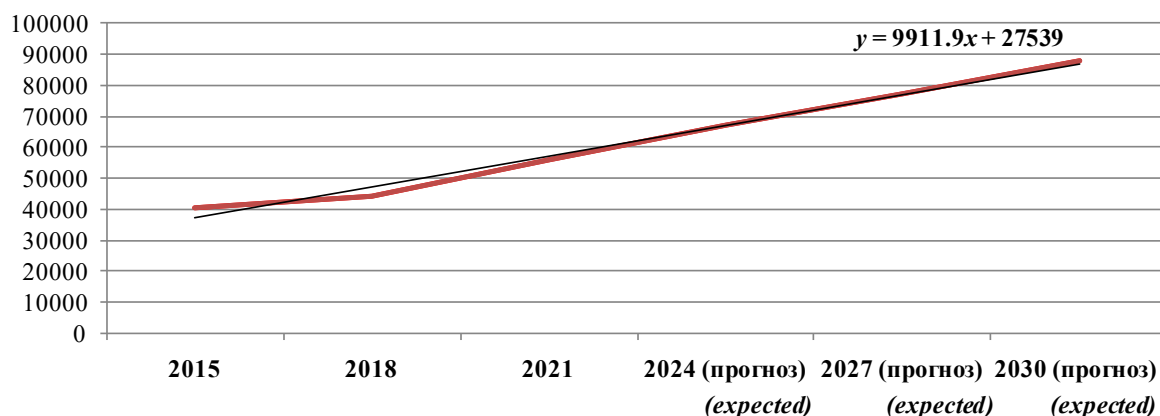


Рис. 4. Прогноз производства аграрной продукции в Пермском крае до 2030 года, млн руб.

Источник: составлено авторами на основе [16]

Fig. 4. Expected agricultural production in Perm region until 2030, million rubles

Source: calculated by the authors

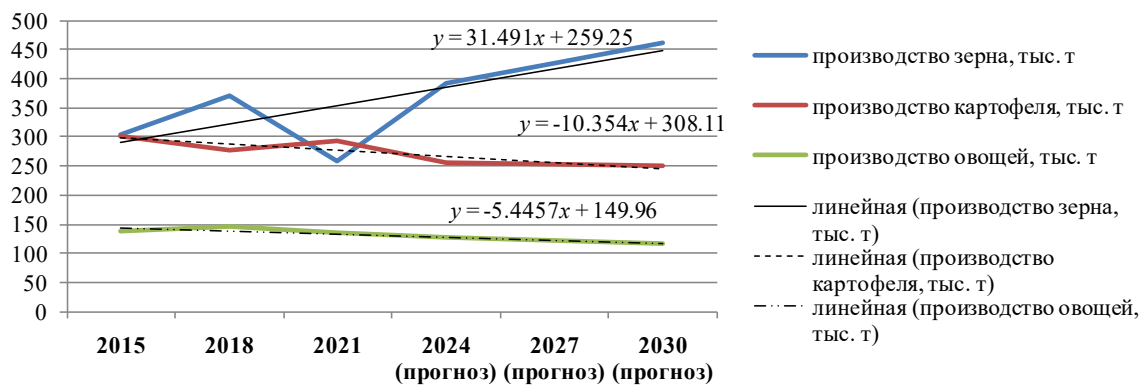


Рис. 5. Прогноз производства продукции отрасли растениеводства Пермского края до 2030 года, тыс. тонн

Источник: составлено авторами на основе [16]

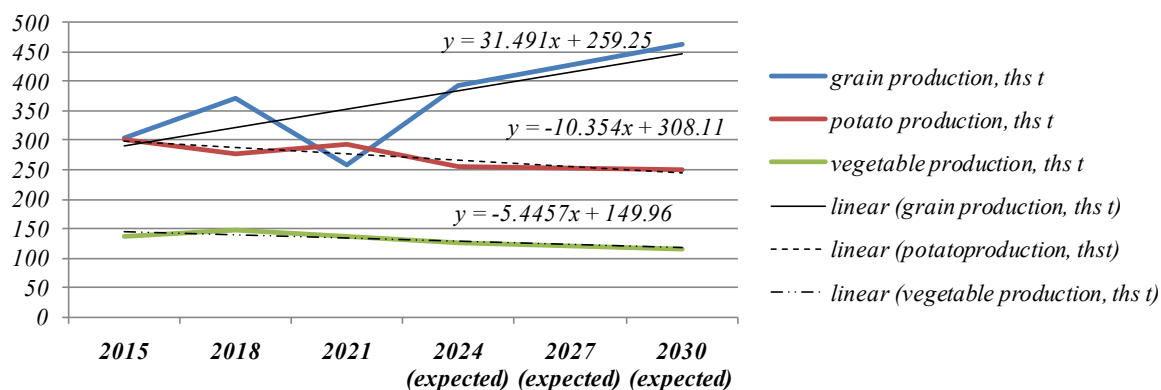


Fig. 5. Expected production of crop production industry in the Perm region until 2030, thousand tons

Source: calculated by the authors

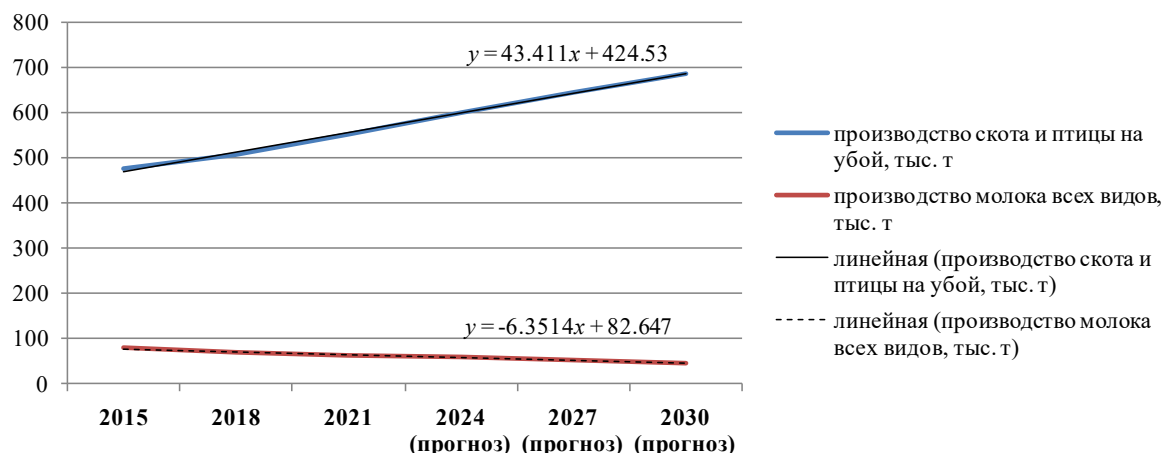


Рис. 6. Прогноз производства продукции отрасли животноводство Пермского края до 2030 года, тыс. тонн
Источник: составлено авторами на основе [16]

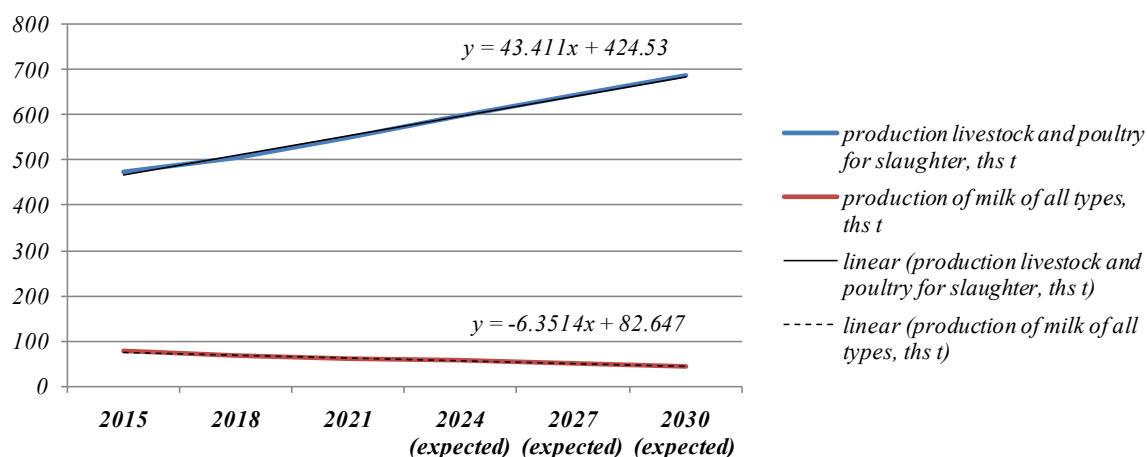


Fig. 6. Expected production in the livestock industry in the Perm region until 2030, thousand tons
Source: calculated by the authors

Прогноз позволяет предположить сохранение роста стоимостных показателей аграрного производства в Пермском крае до 2030 года с достижением уровня 87 млрд руб.

Развитие отрасли растениеводства Пермского края, при сохранении современных условий вероятнее всего будет развиваться по сценарию тождественному развитию ПФО (рис. 5).

Иная ситуация ожидается в отрасли животноводство (рис. 6).

Как видно из рис. 6, Пермский край отличается от других регионов снижением объемов производства мяса скота и птицы. Основные причины этому: невнятная позиция регионального руководства относительно хозяйственного спора по крупнейшему свиноводческому комплексу Пермского края, приведшему к фактическому банкротству данного предприятия; нерешенность обострившихся проблем в краевом птицепроме, связанных с обеспечением птицефабрик инкубационным яйцом, комбикормами, вакцинами, а также ростом цен на энергоносители и снижением отраслевой рентабельности.

Считаем необходимым отметить, что, казалось бы, достигнутые успехи по производству молока в Пермском крае связываются нами прежде всего с увеличением переработки ввозимого из-за пределов региона сухого порошкового молока на молочных комбинатах, а не за счет увеличения собственного производства.

Таким образом, осуществленные нами прогнозы позволяют обратить внимание на существующие неблагоприятные тенденции в отраслевом развитии сельских территориальных экономических систем Пермского края и высокую вероятность их сохранения в период до 2030 года.

Считаем своим долгом для преодоления сложившейся ситуации предложить ряд мероприятий, сгруппированных по ключевым направлениям: экономическая и социальная устойчивость, экологическая безопасность.

Для достижения экономической устойчивости отраслевого развития сельских территорий мы считаем необходимым: повысить инвестиционную привлекательность аграрной экономики посред-

ством увеличения государственных инвестиций в комплексное развитие для достижения финансовой устойчивости аграрного сектора; формировать благоприятную среду для развития предпринимательства и малых форм хозяйствования; развивать внутренние микрорынки сельских территорий, сформированные из цепочек поставок продовольствия на основе потребительского спроса населения и инициатив малых форм хозяйствования, а также расширения доступа к региональным и внутристрановым рынкам сбыта.

Для достижения социальной устойчивости отраслевого развития сельских территорий мы считаем необходимым программным способом решать задачи обеспечения продовольственной безопасности региона по основным продуктам питания; институционально преодолевать проблемы сформировавшихся неравенств (структурное, социальное, цифровое, гендерное) в доступе и использовании ресурсов, знаний, активов, технологий и рынков/цепочек создания стоимости посредством комплексного развития сельских территорий с целью создания комфортных условий для проживания и трудовой деятельности сельского населения, повышения его доходов, обеспечения доступа к инфраструктуре, дорожным сетям, рынкам, услугам.

Для достижения экологической безопасности пространственно-отраслевого развития сельских территорий мы считаем необходимым обеспечить доступ сельскохозяйственных товаропроизводителей к инновационным технологиям, новым бизнес-моделям, информации и знаниям для реализации природоохранных мероприятий, повышения эффективности агропромышленного производства и глубины переработки сельскохозяйственной продукции, снижения количества отходов и сокращения потерь производимого продовольствия [17].

Реализация предлагаемых мероприятий требует согласования интересов всех участников пространственно-отраслевого развития сельских территориальных экономических систем региона и соответствующего их отражения в государственной и региональной политике, программах устойчивого развития сельских территорий и отраслевых инвестиционных программах, в том числе за счет достижения компромиссов интересов между властью, бизнесом и аграрным населением.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе настоящего исследования нами было установлено, что в современной экономической науке вопросы отраслевого развития сельских территориальных экономических систем раскрыты недостаточно полно. В то же время можно судить о сформировавшемся теоретико-методологическом базисе исследования территориальных экономических систем и пространственной организации отраслевой деятельности.

Так, П. А. Минакир и Н. Г. Джурка оценивают трансформацию пространства экономических систем как логически непротиворечивые изменения связей между элементами в форме аффинных или проективных преобразований. При этом ими отмечается возможность осуществления анализа, игнорирующего комплексную совокупность экономического пространства в узкоспециализированных работах [18]. Основываясь на данном утверждении, исходя при этом из лимитированного объема настоящей статьи, мы не стали использовать описанные в научных источниках подходы к автокорреляционному анализу, регрессионному моделированию и сценарному прогнозированию [19] отраслевого развития сельских территориальных экономических систем.

В то же время мы с особым вниманием ознакомились с методическим подходом Л. А. Третьяковой, А. С. Астахина, основанном на анализе интегрированных показателей, полученных исчислением частных значений критерий-факторов устойчивого развития [20], а также с предложенными В. Г. Закшевским, И. Н. Меренковой, И. И. Новиковой, Е. С. Кусмагамбетовой логикой исследования дифференциации экономики сельских территорий и методикой ее объективно-субъективной оценки [21]. Их осмысление позволило в настоящем исследовании применить элементы системного и графического анализа, используемые в работах различных авторов. Так, М. С. Петухова использовала данный метод для оценки монопоказателей аграрной деятельности, например, урожайности зерновых культур [22].

Отличием нашего подхода является то, что мы не рассматривали интегральные показатели, характеризующие развитие сельских территорий в совокупности социальных, экономических и экологических аспектов, и не анализировали стоимостные показатели отраслевого развития аграрной экономики, а оценили отраслевое развитие сельских территориальных экономических систем регионов России посредством исследования динамики основных натуральных показателей сельскохозяйственной деятельности в достаточно непродолжительный период современной экономической неопределенности.

Интерпретирование полученных в ходе нашей предшествующей научной деятельности результатов с выводами и предложениями других авторов, специализирующихся в данном сегменте науки, позволило дать прогнозы развития отраслей сельского хозяйства по ПФО и Пермскому краю до 2030 года, а также сформулировать ряд мероприятий, сгруппированных по направлениям экономической устойчивости, социальной устойчивости, экологической безопасности. Тем самым были достигнуты цель и задачи работы.

В наших дальнейших работах мы планируем исследовать и развивать используемые в практике реализации аграрной политики инструменты оценки и прогнозирования пространственно-отраслевого развития сельских территорий, ориентированные на преодоление сложившейся дифференциации регионов, достижимой при внедрении инновационных решений (обеспечивающих адаптивную реакцию на конъюнктурные тенденции и изменения воздействий внешних факторов) в управлении отраслевым развитием сельских территориальных экономических систем.

Практическая значимость настоящей статьи заключается в том, что результаты и выводы могут оказаться востребованы в деятельности органов регионального и отраслевого управления, а также использоваться в процессах совершенствования управления устойчивым развитием сельских территорий в рамках реализации Стратегий пространственного развития России и развития агропромышленного комплекса.

Библиографический список

1. Grohmann P., Feindt P. H. The importance of calibration in policy mixes: Environmental policy integration in the implementation of the European Union's Common Agricultural Policy in Germany (2014–2022) // *Environmental Policy and Governance*. 2023. Vol. 34, No. 2. DOI: 10.1002/eet.2052.
2. Christiaensen L., Rutledge Z., Taylor J. E. Viewpoint: The future of work in agri-food // *Food Policy*. 2021. Vol. 99. Article number 101963. DOI: 10.1016/j.foodpol.2020.101963.
3. Dudek M., Wrzochalska A. Between competitiveness and sustainability? Achievements and dilemmas of regional policy in the context of economic development of rural regions: the case of Poland // *European Journal of Sustainable Development*. 2019. Vol. 8, No. 2. Pp. 299–311.
4. Haan E., Haartsen T., Meier S., Strijker D. Understanding the success of rural citizens' initiatives: Perspectives of founders // *Journal of Rural Studies*. 2019. Vol. 70. Pp. 207–214. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2017.11.001.
5. Tessier L., Bijttebier J., Marchand F., Baret P. V. Pathways of action followed by Flemish beef farmers – an integrative view on agroecology as a practice // *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020. Pp. 111–133. DOI: 10.1080/21683565.2020.1755764.
6. Jungsberg L., Copus A., Herslund L. B., Randall L., Berlina A. Key actors in community-driven social innovation in rural areas in the Nordic countries // *Journal of Rural Studies*. 2020. Vol. 79, No. 2. Pp. 276–285. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2020.08.004.
7. Tricheur A., Reau R., Choisis J.-P., Meynard J.-M. Traque aux pratiques innovantes pour contrôler les adventices en Agriculture Biologique // *Agronomie, Environnement & Sociétés*. 2022. Pp. 1775–4240. DOI: 10.54800/pot693.
8. Galanakis C. M. The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis // *Foods*. 2020. Vol. 9. Article number 523. DOI: 10.3390/foods9040523.
9. Daugbjerg C., Schvartzman Y. Organic Food and Farming Policy in Denmark / Edited by Caroline de la Porte et al. Oxford: Oxford University Press, 2022. Pp. 25–44. DOI: 10.1093/oso/9780192856296.003.0002.
10. Lamine C., Magda D., Amiot M.-J. Crossing sociological, ecological, and nutritional perspectives on agri-food systems transitions: towards a transdisciplinary territorial approach. 2019 // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, No. 5. DOI: 10.3390/su11051284.
11. Krasilnikova L. E. Spatial and sectoral development of the region based on the development of agro-industrial territorial and supply chain management in economic systems // *International Journal of Supply Chain Management*. 2019. Vol. 8, No. 4. Pp. 834–844.
12. Ferreira Guiné R. d. P., Pato de Jesús M. L., Amaro da Costa C., de Vasconcelos Texeira Aguiar da Costa D., Barracosa Correia da Silva P., Pereira Domibgued Martinho V. J. Food Security and Sustainability: Discussing the Four Pillars to Encompass Other Dimensions // *Foods*. 2021. Vol. 10. Article number 2732. DOI: 10.3390/foods10112732.
13. Meuwissen M., Feindt P. H., Spiegel A. et al. A framework to assess the resilience of farming systems // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 176, No. 2. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102656.
14. Łażniewska E., Boháč A., Kurowska-Pysz J. Asymmetry as a factor weakening resilience and integration in the sustainable development of the Polish-Czech borderland in the context of the dispute about the Turów mine // *Problemy ekorozwoju*. 2022. Vol. 18, No. 1. Pp. 139–152. DOI: 10.35784/pe.2023.1.14.
15. Fortes A. R., Ferreira V., Simoes E. B. et al. Food Systems and Food Security: The Role of Small Farms and Small Food Businesses in Santiago Island // *Agriculture-Basel*. 2020. Vol. 10, No. 6. DOI: 10.3390/agriculture10060216.
16. Федеральная государственная статистическая служба [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 14.12.2023).

17. Красильникова Л. Е., Баландин Д. А., Федосеева С. С. Особенности пространственно-отраслевого развития сельских территорий Волго-Камского макрорегиона // *International Agricultural Journal*. 2021. Т. 64, № 4. DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10345.

18. Минакир П. А., Джурка Н. Г. Методологические основания пространственных исследований в экономике // *Вестник Российской академии наук*. 2018. Т. 88(7). С. 589–598. DOI: 10.31857/s086958730000082-8.

19. Наумов И. В. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала территорий методами пространственного моделирования // *Экономика региона*. 2019. Т. 15, № 3. С. 720–735. DOI: 10.17059/2019-3-8.

20. Третьякова Л. А., Астахин А. С. Пространственное развитие территорий: состояние, тенденции, комплексный подход к оценке дифференциации регионов (территорий) // *Вестник университета*. 2020. № 4. С. 107–114. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-4-107-114.

21. Закшевский В. Г., Меренкова И. Н., Новикова И. И., Кусмагамбетова Е. С. Методический инструментарий диагностики диверсификации сельской экономики // *Экономика региона*. 2019. Т. 15, № 2. С. 520–533. DOI: 10.17059/2019-2-16.

22. Петухова М. С. Исследование динамики урожайности зерна в России в контексте научно-технологического развития отрасли растениеводства // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 1 (204): С. 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-204-01-81-90.

Об авторах:

Людмила Егоровна Красильникова, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и финансов, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 690793.

E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Ольга Александровна Рущицкая, доктор экономических наук, доцент, директор института экономики, финансов и менеджмента, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696. E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Дмитрий Аркадьевич Баландин, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-7862-3617, AuthorID 752195. E-mail: balandin.da@uiec.ru

Татьяна Ивановна Кружкова, кандидат исторических наук, доцент кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9564-7928 AuthorID 697760, +79122066422. E-mail: rustale@yandex.ru

References

1. Grohmann P., Feindt P. H. The importance of calibration in policy mixes: Environmental policy integration in the implementation of the European Union's Common Agricultural Policy in Germany (2014–2022). *Environmental Policy and Governance*. 2023; 34 (2). DOI: 10.1002/eet.2052.

2. Christiaensen L., Rutledge Z., Taylor J. E. Viewpoint: The future of work in agri-food. *Food Policy*. 2021; 99: 101963. DOI: 10.1016/j.foodpol.2020.101963.

3. Dudek M., Wrzochalska A. Between competitiveness and sustainability? Achievements and dilemmas of regional policy in the context of economic development of rural regions: the case of Poland. *European Journal of Sustainable Development*. 2019; 8 (2): 299–311.

4. Haan E., Haartsen T., Meier S., Strijker D. Understanding the success of rural citizens' initiatives: Perspectives of founders. *Journal of Rural Studies* 70. 2019: 207–214. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2017.11.001.

5. Tessier L., Bijttebier J., Marchand F., Baret P. V. Pathways of action followed by Flemish beef farmers – an integrative view on agroecology as a practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020: 111–133. DOI: 10.1080/21683565.2020.1755764.

6. Jungsberg L., Copus A., Herslund L. B., Randall L., Berlina A. Key actors in community-driven social innovation in rural areas in the Nordic countries. *Journal of Rural Studies*. 2020; 79 (2): 276–285. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2020.08.004.

7. Tricheur A., Reau R., Choisis J.-P., Meynard J.-M. Traque aux pratiques innovantes pour contrôler les adventices en Agriculture Biologique. *Agronomie, Environnement & Sociétés*. 2022: 1775–4240. DOI: 10.54800/pot693. (In French.)

8. Galanakis C. M. The Food Systems in the Era of the Coronavirus (COVID-19) Pandemic Crisis. *Foods*. 2020; 9: 523. DOI: 10.3390/foods9040523.

9. Daughbjerg C., Schvartzman Y. Organic Food and Farming Policy in Denmark. *Edited by Caroline de la Porte et al., Oxford University Press*. 2022: 25–44. DOI: 10.1093/oso/9780192856296.003.0002.

10. Lamine C., Magda D., Amiot M.-J. Crossing sociological, ecological, and nutritional perspectives on agrifood systems transitions: towards a transdisciplinary territorial approach. *Sustainability*. 2019; 11 (5): DOI: 10.3390/su11051284.
11. Krasilnikova L. E. Spatial and sectoral development of the region based on the development of agro-industrial territorial and supply chain management in economic systems. *International Journal of Supply Chain Management*. 2019. 8 (4): 834–844.
12. Ferreira Guiné R. d. P., Pato de Jesús M. L., Amaro da Costa C., de Vasconcelos Texeira Aguiar da Costa D., Barracosa Correia da Silva P., Pereira Domibgued Martinho V. J. Food Security and Sustainability: Discussing the Four Pillars to Encompass Other Dimensions. *Foods*. 2021; 10: 2732. DOI: 10.3390/foods10112732.
13. Meuwissen M., Feindt P. H., Spiegel A. et al. A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*. 2019; 176 (2). DOI: 10.1016/j.agsy.2019.102656.
14. Łaźniewska E., Boháč A., Kurowska-Pysz J. Asymmetry as a factor weakening resilience and integration in the sustainable development of the Polish-Czech borderland in the context of the dispute about the Turów mine. *Problemy ekorozwoju*. 2022; 18 (1): 139–152. DOI: 10.35784/pe.2023.1.14.
15. Fortes A. R., Ferreira V., Simoes E. B. et al Food Systems and Food Security: The Role of Small Farms and Small Food Businesses in Santiago Island. *Agriculture-Basel*. 2020; 10 (6). DOI: 10.3390/ agriculture10060216.
16. Federal State Statistical Service [Internet] [cited 2023 Dec 14]. Available from: <http://www.gks.ru>. (In Russ.)
17. Krasilnikova L. E., Balandin D. A., Fedoseeva S. S. Features of spatial and industrial development of rural territories of the Volgo-Kamsk macroregion. *International Agricultural Journal*. 2021; 64 (4). DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10345. (In Russ.)
18. Minakir P., Jurca N. Methodological foundations of spatial research in economics. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2018; 88 (7): 589–598. DOI: 10.31857/s086958730000082-8 (In Russ.)
19. Naumov I.V. Investigation of the interregional relationships in the processes of shaping the territories' investment potential using the methods of spatial modelling. *Economy of Regions*. 2019; 15 (3): 720–735. DOI: 10.17059/2019-3-8 (In Russ.)
20. Tretyakova L., Astakhin A. Spatial development of territories: status, trends, integrated approach to assessing the differentiation of regions (territories). *Vestnik universiteta*. 2020; 4: 107–114. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-4-107-114. (In Russ.)
21. Zakshevskii V. G., Merenkova I. N., Novikova I. I., Kusmagambetova E. S. Methodological Toolkit for Diagnosing the Diversification of Rural Economy. *Economy of Regions*. 2019; 15 (2): 520–533. DOI: 10.17059/2019-2-16. (In Russ.)
22. Petukhova M. S. Research of grain yield dynamics in Russia in the context of scientific and technological development of the crop production industry. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 1 (204): 81–90. DOI: 10.32417/1997- 4868-2021-204-01-81-90. (In Russ.)

Authors' information:

Lyudmila E. Krasilnikova, doctor of economic sciences, professor of accounting and finances department, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 690793. E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Olga A. Ruschitskaya, doctor of economic sciences, director of the institute of economics, finance and management, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696. E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Dmitriy A. Balandin, candidate of economic sciences, senior researcher, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-7862-3617, AuthorID 752195. E-mail: balandin.da@uiiec.ru

Tatyana I. Kruzhkova, candidate of history sciences, associate professor of the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9564-7928, AuthorID 697760. E-mail: rustale@yandex.ru

Подходы к формированию концепции цифровой трансформации садоводства Российской Федерации

Е. А. Рахимова[✉]

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

[✉]E-mail: rakhimova.e@spcras.ru

Аннотация. Необходимость наращивания производства фруктов и ягод ставит вопрос повышения производительности, что возможно в современных условиях путем цифровой трансформации отрасли садоводства. **Цель** настоящего исследования – разработать подходы, которые позволят подготовить концепцию цифровой трансформации садоводства страны. **Методы** исследования: социально-экономический анализ, графический и SWOT-анализ. **Научная новизна.** Выявлены сильные и слабые стороны развития цифровизации в садоводстве Российской Федерации, возникающие при этом возможности и угрозы, установлены факторы, сдерживающие развитие цифровых технологий в садоводстве страны, а также предложены меры, смягчающие их влияние. **Результаты исследования.** В статье рассмотрена обеспеченность плодами и ягодами собственного производства населения страны по регионам относительно фактического потребления и рекомендованных Министерством здравоохранения Российской Федерации норм потребления в период 2010–2021 гг. На основании выполненных расчетов сделан вывод, что за последние годы удалось повысить данные показатели в целом по стране до 37,9 % и 27,3 % соответственно, однако доля импорта остается высокой и вопрос увеличения садоводческой продукции очень актуален. Проведенный SWOT-анализ развития цифровизации в садоводстве Российской Федерации показал, что наряду с возможностями цифровых технологий существуют и слабые стороны, основными из которых являются существенные инвестиционные затраты как для проектных организаций, так и для пользователей – конкретных сельскохозяйственных товаропроизводителей. Факторы, сдерживающие развитие цифровых технологий в садоводстве России разделены на пять групп: отраслевые, экономические, государственные, технические и социальные. Для смягчения влияния данных факторов рекомендовано использовать дополнительные меры государственной поддержки, а также кооперацию и создание кластеров, что подтверждает опыт зарубежных стран. Приведены примеры успешных российских кооперативов в сфере выращивания и заготовки плодов и ягод. Предложенные подходы могут быть использованы при разработке на государственном уровне концепции цифровой трансформации садоводства как в Российской Федерации в целом, так и в отдельных регионах.

Ключевые слова: садоводство, фрукты и ягоды, цифровая трансформация, концепция, факторы, кооперация, кластер, государственная поддержка

Для цитирования: Рахимова Е. А. Подходы к формированию концепции цифровой трансформации садоводства Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 417–429. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-417-429>.

Благодарности. Исследование проведено в рамках выполнения Государственного задания по бюджетной теме № FFZF-2022-18.

Дата поступления статьи: 23.10.23, **дата рецензирования:** 22.11.2023, **дата принятия:** 15.01.2024.

Approaches to developing the concept of digital transformation of horticulture in the Russian Federation

E. A. Rakhimova✉

Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Institute of Agricultural Economics and Rural Development, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

✉E-mail: rakhimova.e@spcras.ru

Abstract. The need to increase the production of fruits and berries raises the question of increasing productivity, which is possible in modern conditions through the digital transformation of the horticulture industry. **The purpose** of this study is to develop approaches that will allow us to prepare a concept for the digital transformation of the country's horticulture. **Research methods:** socio-economic analysis, graphical and SWOT analysis. **Scientific novelty** of the research: the strengths and weaknesses of the development of digitalization in horticulture in the Russian Federation, the emerging opportunities and threats, have been identified, factors hindering the development of digital technologies in the country's horticulture have been identified, and measures have been proposed to mitigate their impact. **Research results.** The article examines the provision of fruits and berries of the country's own production by region in relation to actual consumption and consumption standards recommended by the Ministry of Health of the Russian Federation in the period 2010-2021. Based on the calculations made, it was concluded that in recent years it has been possible to increase these indicators in the country as a whole to 37.9 % and 27.3 %, respectively, however, the share of imports remains high and the issue of increasing horticultural products is very relevant. The SWOT analysis of the development of digitalization in horticulture in the Russian Federation showed that along with the capabilities of digital technologies, there are also weaknesses, the main of which are significant investment costs for both design organizations and users – specific agricultural producers. Factors hindering the development of digital technologies in Russian horticulture are divided into five groups: industry, economic, government, technical and social. To mitigate the impact of these factors, it is recommended to use additional government support measures, as well as cooperation and the creation of clusters, which is confirmed by the experience of foreign countries. Examples of successful Russian cooperatives in the field of growing and harvesting fruits and berries are given. The proposed approaches can be used when developing at the state level the concept of digital transformation of horticulture both in the Russian Federation as a whole and in individual regions.

Keywords: gardening, fruits and berries, digital transformation, concept, factors, cooperation, cluster, governmental support

For citation: Rakhimova E. A. Approaches to developing the concept of digital transformation of horticulture in the Russian Federation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 417–429. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-417-429>. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was conducted as part of the implementation of the state assignment on the budget topic No. FFZF-2022-18.

Date of paper submission: 23.10.23, **date of review:** 22.11.2023, **date of acceptance:** 15.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Продукция садоводства не является основной в рационе россиян, но она необходима для поддержания здоровья, снабжения организма витаминами и микроэлементами, повышения иммунитета, поэтому развитие этой отрасли является важным в обеспечении продовольственной безопасности страны.

Повышение производительности труда в садоводстве в настоящее время невозможно без внедрения цифровых технологий, которые позволяют более точно планировать необходимые ресурсы,

автоматизировать многие производственные процессы, осуществлять раннее высокоточное прогнозирование урожая.

Министерством сельского хозяйства РФ разработана и реализуется Концепция научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [1]. Одним из шести направлений цифровой трансформации сельского хозяйства является проект «Умный сад» – это система, осуществляющая анализ информации о состоянии сада, принимающая решения, которые

реализуют роботизированные технические средства. Предполагается, что к 2024 году начнет работать платформа «Цифровое сельское хозяйство», содержащая данные о ресурсах сельского хозяйства, что позволит снизить риски производства.

А. И. Костяев, В. Н. Суровцев, А. Л. Ронжин отмечают, что применение цифровых технологий в сельском хозяйстве помогает снизить количество используемых химических препаратов, что повышает качество выращиваемой продукции [2].

Проблемы и перспективы цифровизации аграрной экономики исследуют А. А. Дибиров, Х. А. Дибирова [3].

М. В. Придорогин, А. С. Гордеев, Н. С. Попов, О. В. Пещерова, Л. Н. Чуксина предложили методологию системного подхода к цифровизации деятельности садоводческих предприятий. Авторами сделано описание источников получения информации, необходимой для построения баз данных, используемых при разработке систем управления в садоводстве. [4].

Глубокий анализ современных роботизированных систем для производства плодов и ягод как отечественных, так и зарубежных производителей представлен в аналитическом обзоре, подготовленном коллективом авторов ФГБНУ «Росинформагротех» [5].

В. И. Трухачев определил перспективные направления развития отечественного садоводства, основанные на интенсивных технологиях, выявил его значительный потенциал. Автором предложено комплексное решение проблем, существующих при переходе к интенсивным технологиям, связанное с восполнением дефицита саженцев, средств механизации, высококвалифицированных кадров, основой которого является действенный механизм государственной поддержки, отлаженная система подготовки кадров, развитие плодпитомников, а также восстановление масштабности садоводства [6].

Л. А. Велибекова провела анализ мирового уровня производства, урожайности, площадей посадки многолетних насаждений, а также выявила основные факторы, влияющие на эффективность садоводства в ведущих странах мира, рассмотрела вопрос доступности плодово-ягодной продукции для россиян и направления развития садоводства и перерабатывающей промышленности [7].

Л. Г. Протасова, В. И. Набоков исследовали возможности роста объемов производства плодово-ягодной продукции путем увеличения инвестиций в инфраструктуру и расширения кооперации, а также разработали способы повышения качества услуг онлайн-сервиса «СберМаркет» [8].

Таблица 1
Доля собственного производства фруктов и ягод в фактическом потреблении за 2010–2021 гг., %

Территории	2010 г.	2016 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Темп прироста (снижения), п. п.
Российская Федерация	20,7	28,7	25,0	31,6	32,4	37,9	17,2
Центральный федеральный округ	19,4	22,9	17,7	24,7	23,4	29,3	9,9
Северо-Западный федеральный округ	13,0	16,4	8,8	14,0	13,2	16,3	3,3
Южный федеральный округ	42,5	68,2	64,9	73,6	69,4	88,8	46,3
Северо-Кавказский федеральный округ	45,6	52,4	65,3	83,4	96,9	114,1	68,5
Приволжский федеральный округ	17,5	30,7	21,9	28,3	31,9	31,8	14,2
Уральский федеральный округ	15,5	15,2	13,6	17,9	15,9	14,3	–1,2
Сибирский федеральный округ	13,0	11,5	10,4	10,6	11,9	12,0	–1,0
Дальневосточный федеральный округ	7,1	6,1	7,9	6,7	6,6	6,9	–0,2

Рассчитано автором по источникам: [12; 13].

Table 1
Share of own production of fruits and berries in actual consumption for 2010–2021, %

Territories	2010	2016	2017	2019	2020	2021	Growth (decrease) rate, p. p.
Russian Federation	20.7	28.7	25.0	31.6	32.4	37.9	17.2
Central federal district	19.4	22.9	17.7	24.7	23.4	29.3	9.9
Northwestern federal district	13.0	16.4	8.8	14.0	13.2	16.3	3.3
Southern federal district	42.5	68.2	64.9	73.6	69.4	88.8	46.3
North Caucasian federal district	45.6	52.4	65.3	83.4	96.9	114.1	68.5
Volga federal district	17.5	30.7	21.9	28.3	31.9	31.8	14.2
Ural federal district	15.5	15.2	13.6	17.9	15.9	14.3	–1.2
Siberian federal district	13.0	11.5	10.4	10.6	11.9	12.0	–1.0
Far Eastern federal district	7.1	6.1	7.9	6.7	6.6	6.9	–0.2

Calculated by the author from sources [12; 13].

А. Р. Сайфетдинов, Н. Р. Лягоскина рассчитали эффективность инвестиций в организацию сада без государственной поддержки и при её наличии с использованием программных продуктов SimulAg и MS Excel, выявили рискованность осуществления проектов без поддержки от государства. Авторы предложили разработать цифровые технологии для экзондирования сортов плодовых культур [9].

Опыт китайских фермеров по производству фруктов представлен в работе М. Чжан, Я. Цзинь, Ф. Чжэн, Х. Цяо, ими рассмотрена проблема асимметрии качества продукции [10].

Вопросы обнаружения заболеваний плодов при помощи искусственного интеллекта исследуют ученые Индии, Объединенных Арабских Эмиратов и Саудовской Аравии [11].

Несмотря на большое внимание ученых к проблеме цифровизации садоводческих хозяйств, ряд вопросов, связанных с комплексным внедрением данных технологий, особенно для хозяйств малых форм, остается нерешенным. Цель данного исследования – разработка подходов к формированию концепции цифровой трансформации садоводства России, которые позволят органам власти различных уровней подготовить соответствующие законопроекты, необходимые для устойчивого развития сельских территорий и повышения продовольственной безопасности страны по направлению обеспеченности плодами и ягодами.

Методология и методы исследования (Methods)

При проведении исследования использовались методы социально-экономического анализа, графический, SWOT-анализ. Информационной базой являются статистические данные Федеральной службы государственной статистики России.

Результаты (Results)

Цифровые технологии существенно трансформируют весь процесс производства и реализации фруктов и ягод, повышая эффективность деятельности садоводческих хозяйств. Концепция – это система взглядов на определенные явления, в контексте данного исследования – комплексное видение проблемы цифровой трансформации садоводства страны.

По данным таблицы 1, на 2021 год обеспеченность плодами и ягодами собственного производства в целом по Российской Федерации составила 37,9 % от фактического потребления, в то время как данный показатель ниже рациональной нормы, рекомендованной Министерством здравоохранения Российской Федерации, с учетом которой доля собственного производства составила только 27,3 % (таблица 2). В динамике с 2010 по 2021 год анализируемые показатели выросли на 17,2 и 12,8 п. п. соответственно, что является положительным явлением, однако проблема обеспеченности отечественными фруктами и ягодами россиян остается актуальной.

Таблица 2
Доля собственного производства фруктов и ягод в необходимом потреблении согласно рациональной норме (рекомендованной Министерством здравоохранения Российской Федерации) за 2010–2021 гг., %

Территории	2010 г.	2016 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Темп прироста (снижения), п. п.
Российская Федерация	14,5	20,8	18,3	23,8	25,0	27,3	12,8
Центральный федеральный округ	14,3	16,6	12,6	18,2	18,3	21,3	7,0
Северо-Западный федеральный округ	10,0	12,1	6,4	10,6	10,4	12,2	2,2
Южный федеральный округ	33,0	53,1	50,9	58,5	53,6	65,1	32,1
Северо-Кавказский федеральный округ	28,6	41,8	49,7	71,1	86,6	95,1	66,5
Приволжский федеральный округ	11,8	22,1	16,3	21,8	24,7	23,0	11,2
Уральский федеральный округ	11,1	11,3	10,2	13,2	12,6	10,9	–0,2
Сибирский федеральный округ	8,0	7,6	7,1	7,5	8,2	7,4	–0,6
Дальневосточный федеральный округ	4,7	4,1	5,2	4,3	4,5	4,4	–0,3

Рассчитано автором по источникам [12; 13].

Table 2
Share of own production of fruits and berries in required consumption according to the rational norm (recommended by the Ministry of Health of the Russian Federation) for 2010–2021, %

Territories	2010	2016	2017	2019	2020	2021	Growth (decrease) rate, p. p.
Russian Federation	14.5	20.8	18.3	23.8	25.0	27.3	12.8
Central federal district	14.3	16.6	12.6	18.2	18.3	21.3	7.0
Northwestern federal district	10.0	12.1	6.4	10.6	10.4	12.2	2.2
Southern federal district	33.0	53.1	50.9	58.5	53.6	65.1	32.1
North Caucasian federal district	28.6	41.8	49.7	71.1	86.6	95.1	66.5
Volga federal district	11.8	22.1	16.3	21.8	24.7	23.0	11.2
Ural federal district	11.1	11.3	10.2	13.2	12.6	10.9	–0.2
Siberian federal district	8.0	7.6	7.1	7.5	8.2	7.4	–0.6
Far Eastern federal district	4.7	4.1	5.2	4.3	4.5	4.4	–0.3

Calculated by the author from sources [12; 13].

Наибольший вклад в производство данного вида продукции вносят Северо-Кавказский и Южный федеральные округа, они обеспечивают 114,1 % и 88,8 % фактического потребления плодов и ягод соответственно на 2021 год (таблица 1), т. е. в первом регионе производится больше продукции садоводства, чем потребляется населением. Согласно рациональной норме потребления, рекомендованной Министерством здравоохранения Российской Федерации (100 кг на 1 чел. в год [14]), эти показатели составили соответственно 95,1 % и 65,1 % (таблица 2). Основным фактором, определяющим высокий уровень данного показателя по сравнению с другими регионами, является природно-климатический потенциал, использование которого стиму-

лируется государственной поддержкой в виде субсидий и грантов.

Данные таблицы 3 показывают, что объем импорта фруктов, ягод и продуктов их переработки с 2016 по 2021 год менялся незначительно, в целом за анализируемый период показатель снизился на 3,7 %. Экспорт за этот период вырос на 77,5 %, однако его величина невысока – 300 тыс. тонн, в то время как импорт составил 6279 тыс. тонн. Темп прироста объема производства – 22,6 %, при этом произошло увеличение объема производственного потребления и переработки на непищевые цели на 25,9 %, удалось снизить потери на 9,3 % за счет улучшения условий хранения продукции, применения систем автоматизированного контроля технологических процессов в хранилищах.

Таблица 3
Баланс фруктов (включая виноград и цитрусовые), ягод и продуктов их переработки в 2016–2021 гг., тыс. тонн

Показатели	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Темп прироста (снижения) 2021 г. к 2016 г., %
Ресурсы							
Запасы на начало года	1 976	1 972	1 836	2 045	2 003	2 058	4,1
Объем производства	3 863	3 262	3 964	4 178	4 344	4 737	22,6
Импорт	6 517	6 677	6 693	6 424	6 239	6 279	–3,7
Итого ресурсов	12 356	11 911	12 493	12 647	12 586	13 074	5,8
Использование							
Объем производственного потребления и переработка на непищевые цели	1 097	1 117	1 220	1 270	1 223	1 381	25,9
Потери	97	97	69	67	66	88	–9,3
Экспорт	169	211	235	254	282	300	77,5
Фонд личного потребления населением	9021	8 650	8 924	9 053	8 957	9 194	1,9
Запасы на конец года	1 972	1 836	2 045	2 003	2 058	2 111	7,0
Итого использование	12 356	11 911	12 493	12 647	12 586	13 074	5,8

Рассчитано автором по источнику [15].

Table 3
Balance of fruits (including grapes and citrus fruits), berries and their processed products in 2016–2021, thousand tons

Indicators	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Growth (decrease) rate 2021 to 2016, %
Resources:							
Inventories at the beginning of the year	1 976	1 972	1 836	2 045	2 003	2 058	4.1
Volume of production	3 863	3 262	3 964	4 178	4 344	4 737	22.6
Import	6 517	6 677	6 693	6 424	6 239	6 279	–3.7
Total resources	12 356	11 911	12 493	12 647	12 586	13 074	5.8
Usage:							
Volume of industrial consumption and processing for non-food purposes	1 097	1 117	1 220	1 270	1 223	1 381	25.9
Losses	97	97	69	67	66	88	–9.3
Export	169	211	235	254	282	300	77.5
Personal Consumption Fund	9021	8 650	8 924	9 053	8 957	9 194	1.9
Inventories at the end of the year	1 972	1 836	2 045	2 003	2 058	2 111	7.0
Total usage	12 356	11 911	12 493	12 647	12 586	13 074	5.8

Calculated by the author from the source [15].

Таблица 4
SWOT-анализ развития цифровизации в садоводстве РФ

Сильные стороны		Слабые стороны	
- автоматизированное управление регулированием физиолого-биохимическими процессами плодовых культур, что позволяет им реализовать свой потенциал продуктивности; - выбор и мониторинг территорий для выращивания различных плодовых культур разных сортов соответственно их требованиям к условиям среды; - подбор сортов, которые подходят для выращивания на данных территориях; - выбор агротехнологий, которые обеспечивают определенные количественные и качественные результаты по плодам культур на конкретной территории; - отслеживание состояния почвы и плодовых культур, климатических особенностей, проведение анализа этих данных и своевременное принятие мер на их основе; - ускорение операций учета собранных плодов и ягод; - сокращение потерь плодов и ягод, а также затрат на их сбор благодаря сбору урожая с использованием искусственного интеллекта; - снижение расхода воды с использованием интеллектуального полива; - точность учета доходов и расходов; - улучшение взаимодействия с клиентами; - оптимизация хранения; - внедрение комплексных систем, включающих производство плодов и ягод, их переработку, хранение, транспортировку и реализацию		- необходимость дополнительно финансировать на первоначальном этапе; - цифровые технологии не могут функционировать при отсутствии стабильного доступа к интернету; - для онлайн торговли необходима транспортная инфраструктура; - нехватка специалистов, которые могут применять информационные технологии в садоводстве, а также агрономов, способных работать с цифровыми технологиями; - необходимость интеграции различных цифровых технологий между собой; - неадаптированность некоторых зарубежных технологий к российским системам учета; - большой срок окупаемости роботов, датчиков и цифровых систем; - отсутствие стандартов робототехнического проектирования; - нехватка компонентов отечественного производства для роботов; - некоторые цифровые технологии требуют особой посадки и формирования сада	
Возможности		Угрозы	
- увеличение объема производимой продукции; - рост эффективности производства; - снижение рисков путем прогнозирования с использованием цифровых технологий; - уменьшение влияния климата внедрением точного земледелия; - сокращение затрат на посадку и выращивание плодовых культур путем оптимизации производства; - повышение конкурентоспособности продукции благодаря AIoT-проектам		- поломка оборудования, нехватка компонентов для ремонта; - повышения социальной напряженности из-за роста безработицы, т. к. происходит высвобождение трудовых ресурсов; - доступ конкурентов к конфиденциальной информации в результате мошеннических действий; - изменение климата, чрезмерная нагрузка на почву в результате более интенсивного использования земель	
Разработано автором с использованием источников [16–19].			
Strengths		Weakness	
- automated control of the regulation of physiological and biochemical processes of fruit crops, which allows them to realize their productivity potential; - selection and monitoring of areas for growing various fruit crops of different varieties in accordance with their requirements for environmental conditions; - selection of varieties that are suitable for cultivation in these areas; - selection of agricultural technologies that provide certain quantitative and qualitative results for fruit crops in a specific area; - monitoring the condition of the soil and fruit crops, climatic features, analyzing this data and taking timely measures based on them; - acceleration of accounting operations for collected fruits and berries; - reduction of losses of fruits and berries, as well as the cost of harvesting them thanks to harvesting using artificial intelligence; - reducing water consumption using intelligent irrigation; - accuracy of accounting of income and expenses; - improving interaction with clients; - storage optimization; - implementation of integrated systems, including the production of fruits and berries, their processing, storage, transportation and sale		- the need for additional funding at the initial stage; - digital technologies cannot function in the absence of stable access to the Internet; - online trading requires transport infrastructure; - lack of specialists who can apply IT technologies in gardening, as well as agronomists capable of working with digital technologies; - the need to integrate various digital technologies with each other; - lack of adaptation of some foreign technologies to Russian accounting systems; - long payback period for robots, sensors and digital systems; - lack of standards for robotic design; - lack of domestically produced components for robots; - some digital technologies require special planting and garden formation	
Opportunities		Threats	
- increase in the volume of manufactured products; - increased production efficiency; - reducing risks by forecasting using digital technologies; - reducing the impact of climate by introducing precision agriculture; - reducing costs for planting and growing fruit crops by optimizing production; - increasing the competitiveness of products thanks to AIoT projects		- equipment breakdown, lack of components for repair; - increased social tension due to rising unemployment, as labor resources are being released; - access of competitors to confidential information as a result of fraudulent actions; - climate change, excessive load on soils as a result of more intensive land use	

Developed by the author using sources [16–19].

Table 4
SWOT analysis of the development of digitalization in horticulture in the Russian Federation

Сложный производственный процесс садоводческих хозяйств нуждается в оптимизации потребления материальных, энергетических, финансовых средств, что можно сделать путем применения цифровых технологий, которые позволяют не только сократить потребление производственных ресурсов, но и повысить качество получаемой продукции. Например, путем применения беспроводных датчиков можно сократить количество используемых пестицидов. Внедрение данных технологий можно осуществлять постепенно в соответствии с имеющимися в хозяйстве возможностями.

В таблице 4 представлен SWOT-анализ развития цифровизации в садоводстве РФ.

Наряду с сильными сторонами, которые дают возможность повысить эффективность производства, улучшить качество хранения и оптимизировать реализацию продукции за счет использования цифровых роботов, AIoT-платформ и AIoT-приложений, а также цифровых баз данных, формируемых с применением спутниковых и компьютерных технологий, цифровизация имеет и слабые стороны, основными из которых являются дополнительные затраты на первоначальном этапе как для сельхозтоваропроизводителя, так и для проектных организаций. Угрозы связаны с недоработкой цифровых решений и нехваткой необходимых ресурсов для их функционирования.

На рис. 1 представлены факторы, сдерживающие внедрение цифровых технологий в садоводстве РФ, которые разделены нами на 5 групп: отраслевые, экономические, государственные, технические и социальные.

В садоводстве РФ наибольшую долю занимают хозяйства малых форм: на 2020 г. хозяйства населения и крестьянские (фермерские) хозяйства страны производили 72,9 % плодов и ягод от общего производства всеми категориями хозяйств. При этом в ряде федеральных округов этот показатель превысил 90 %: в Северо-Западном он составил 98,7 %, в Приволжском – 93,8 %, в Уральском – 100 %, в Сибирском – 98,8 %, в Дальневосточном – 99,4 % (рассчитано по источнику [20]). Это является одним из основных отраслевых факторов, сдерживающих цифровое развитие, т. к. небольшие хозяйства ограничены в финансовых ресурсах, вынуждены продавать свою продукцию через посредников, что создает длинную цепочку распределения.

Кроме того, в сельской местности наблюдается нехватка специалистов, владеющих цифровыми технологиями, как ключевых, так и рядовых. В России в сельском хозяйстве занято ИТ-специалистов в 2 раза меньше, чем в таких странах, как Германия, США, Великобритания [21].

Большое влияние на внедрение цифровых технологий в садоводство оказывают экономические

факторы. Низкие доходы потребителей ограничивают рост цен на плоды и ягоды. Неравномерный уровень развития регионов влияет на возможность местных органов власти выделять средства для поддержки отрасли, а также на состояние инфраструктуры. Недостаток инвестиций ограничивает как закладку садов интенсивного типа, так и приобретение современной техники, необходимой для ухода за ними.

В связи с этим возникает необходимость государственного регулирования этого процесса: специализированная поддержка сельскохозяйственных товаропроизводителей, внедряющих цифровые технологии, которая в данный момент отсутствует, целевое финансирование разработки робототехники и сопутствующих технологий, а также введение норм, стандартов и экспертизы робототехнического проектирования. Нерешенность этих вопросов формирует государственные факторы, которые в данный момент сдерживают развитие цифровых технологий, но могут стать точками роста развития цифровизации в садоводстве.

Среди технических факторов можно выделить недостаток информации по обучению искусственного интеллекта: нужно формировать базы данных по вредителям и болезням плодово-ягодных культур и другим параметрам, а также существует необходимость интеграции различных цифровых технологий, имеющихся в хозяйстве, что вызывает дополнительные затраты. Часть сельских территорий не имеют доступ к стабильному интернету, это также является дополнительной финансовой нагрузкой. Проблема цифрового разрыва актуальна не только для России, вопрос о смягчении цифрового неравенства на территории ЕС ставится итальянскими учеными [26].

Последняя группа факторов – социальные. Среди них можно выделить сопротивление изменениям – как осознанное, так и неосознанное. Осознанное сопротивление связано, с одной стороны, с нежеланием обучаться, а с другой стороны – со страхом того, что не получится освоить новые навыки. Под неосознанным сопротивлением может скрываться целая группа страхов, которые у каждого работника могут быть индивидуальными.

В отдельный фактор можно выделить ожидание роста безработицы, т. к. цифровые технологии высвобождают трудовые ресурсы. Социальная напряженность в стране отодвигает цифровизацию производства плодов и ягод на второй план. Страх потери конфиденциальности информации связан с недостаточной осведомленностью о защите данных и с несовершенством ряда технологий. Проблема защиты информации, доверия фермеров к цифровым технологиям исследуется коллективом зарубежных ученых [27].



Рис. 1. Факторы, сдерживающие внедрение цифровых технологий в садоводстве РФ

Источник: разработано автором с использованием источников [16; 22–25]

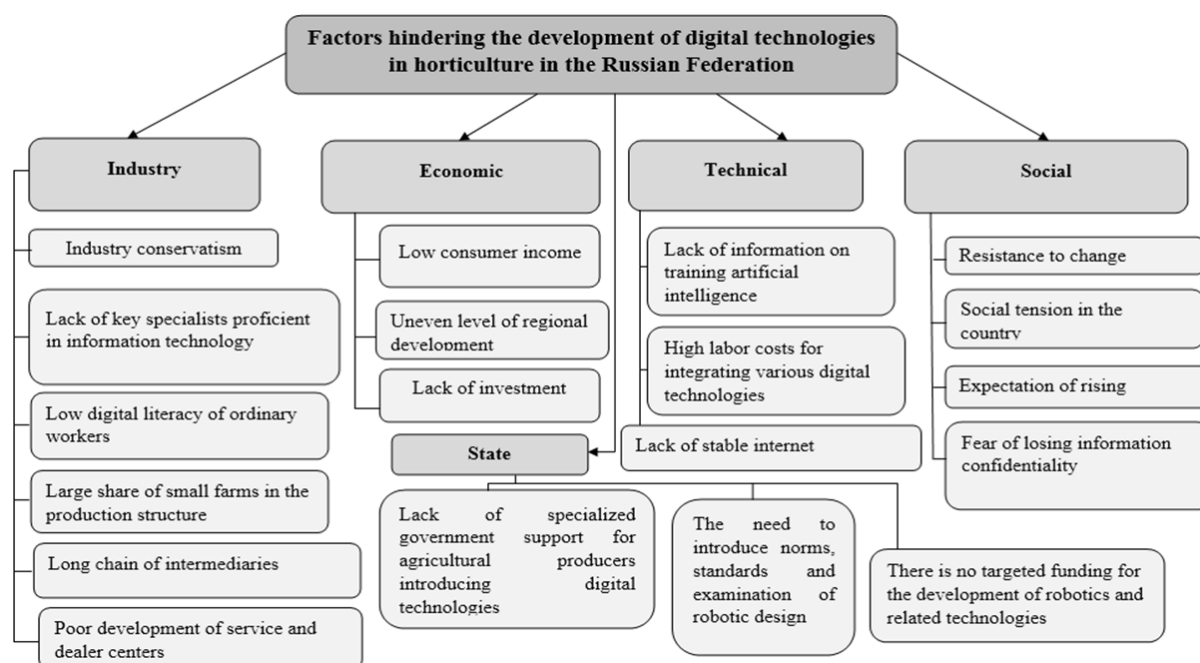


Fig. 1. Factors hindering the introduction of digital technologies in horticulture in the Russian Federation

Source: developed by the author using sources [16; 22–25]

Необходимо предпринять ряд мер для сглаживания влияния вышеперечисленных факторов, среди которых можно выделить дополнительные направления государственной поддержки как для сельхозпроизводителей, внедряющих цифровые технологии, так и для проектных организаций, разрабатывающих цифровые технологии. Кроме того, небольшие хозяйства, производящие плоды и ягоды, могут объединяться в кооперативы, актуально создание садоводческих кластеров.

Кооперация небольших хозяйств малых форм позволяет решить проблемы со сбытом плодово-ягодной продукции и получения дополнительного дохода; крупные фермеры и сельскохозяйственные организации кооперируясь, повышают добавленную стоимость путем переработки продукции, выстраивания собственной логистики и торговли; крупные сельскохозяйственные организации при кооперировании получают эффект масштаба, могут выйти на крупные рынки (межрегиональные и международные) [28].

Ю. Чжан, К. Лу, Ч. Ян, М. Грант [29] провели исследование, опросив 1127 фермеров из 22 поселков, выращивающих фрукты и овощи в провинции Шаньдун, которая по объему производства данных видов сельскохозяйственной продукции занимает первое место в Китае, а также лидирует по количеству кооперативов в стране (здесь находится 2,1 млн фермерских кооперативов, что составляет десятую часть от всех сельскохозяйственных кооперативов Китая). Учеными выявлена положительная роль фермерской кооперации в развитии экологически чистого производства в Китае, что повышает качество выращиваемой продукции, сокращая чрезмерное использование пестицидов. Благодаря членству в кооперативах мелкие фермеры могут сдавать свою продукцию на перерабатывающие предприятия, оснащенные современным оборудованием, что способствует росту их дохода. Кроме того, используя преимущества масштаба, кооперативы приобретают высокотехнологичные средства производства, а также предоставляют унифицированные маркетинговые услуги, снижая затраты своих членов на поиск информации, что улучшает их позиционирование на рынке.

Положительный пример садоводческого кооператива есть в Пензенской области: это сельскохозяйственный перерабатывающий потребительский кооператив «Бековский кооппродукт», созданный на основе нескольких крестьянских (фермерских) хозяйств активным предпринимателем с привлечением средств государственной поддержки. В настоящее время фермерами производятся малина и продукты ее переработки, планируется расширение ассортимента. Продукция успешно реализуется как на местном рынке, так и на зарубежном [30].

Кроме того, можно отметить сельскохозяйственный потребительский перерабатывающий сбытовой кооператив «Ягоды Карелии», который занимается сбором, переработкой и продажей дикорастущих ягод. Кооперативу удалось произвести цифровизацию инфраструктуры при помощи приложения Сбербанка, что позволило снизить себестоимость в среднем на 10–15 % [31].

Хорошей логистической базой обладают организации Центросоюза: это холодильное оборудование, хранилища, перерабатывающие цеха, грузовые автомобили и тракторы, магазины. Небольшие хозяйства могут воспользоваться этой базой для сбора и транспортировки выращенной плодово-ягодной продукции [32].

Концептуальный подход к формированию и развитию садоводческого кластера на примере Центрально-Черноземного экономического района разработан И. А. Ефремовым [33]. Автором предложены этапы реализации концепции формирования и развития кластера, модель создания научно-образовательных центров, возможные варианты развития процессов кластеризации в садоводстве, а также механизм функционирования садоводче-

ского кластера. Данный подход можно применять в других регионах страны.

Таким образом, по нашему мнению, основа концепции цифровой трансформации садоводства РФ должны формироваться с использованием следующих подходов:

1. Ориентация на долгосрочное планирование в развитии отрасли, что позволит постепенно усилить продовольственную безопасность страны в отношении обеспеченности населения фруктами и ягодами в течение всего года.

2. Учет влияния факторов, сдерживающих развитие цифровых технологий в садоводстве РФ: отраслевых, экономических, технических, социальных, государственных.

3. Разработка конкретных мер поддержки внедрения цифровых технологий в садоводство РФ на федеральном, региональном и местном уровнях для хозяйств всех организационно-правовых форм, включая малые, а также государственная поддержка проектных организаций, разрабатывающих цифровые технологии для садоводства, что снизит риск зависимости от зарубежных поставщиков.

4. Использование возможностей кооперативов и кластеров для внедрения цифровых технологий.

5. Организация качественной подготовки специалистов, владеющих цифровыми технологиями, применяемыми в садоводстве на базе средних профессиональных и высших учебных заведений.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изменяемые внешние условия ставят перед аграриями новые задачи, решение которых невозможно без использования современных технологий, адаптированных к местным условиям, особенно это необходимо садоводческим хозяйствам – как крупным сельскохозяйственным организациям, так и небольшим личным подсобным и фермерским хозяйствам. Ускорению процессов внедрения цифровых технологий в процесс производства, хранения, реализации фруктов и ягод, управления всеми этими процессами способствует создание сельскохозяйственных потребительских кооперативов, кластеров, а также целенаправленная государственная поддержка. Обеспечение населения страны качественными фруктами и ягодами, их доступность являются ключевой задачей современной науки, производства, государственных органов всех уровней, которые влияют на решение этого вопроса и в комплексе при эффективном взаимодействии друг с другом постепенно усиливают продовольственную безопасность страны, преодолевая возможные риски и усиливая конкурентные преимущества. Предложенные в исследовании подходы могут лечь в основу концепции цифровой трансформации садоводства РФ, принятие которой ускорит практическую реализацию имеющихся на данный момент возможностей уже существующих цифровых технологий и создаст условия для разработки новых, что выведет отрасль на новый уровень.

Библиографический список

1. Концепция научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. URL: <https://cctmcx.ru/upload/iblock/97d/97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf> (дата обращения: 10.08.2023).
2. Костяев А. И., Суровцев В. Н., Ронжин А. Л. Цифровизация сельского хозяйства и органическое производство // Вестник Российской Академии наук. 2021. Т. 91, № 12. С. 1179–1182. DOI: 10.31857/S0869587321120070.
3. Dibirov A., Dibirova Kh. Prospects and problems of digitalization of the agricultural economy // International Conference “Agriculture digitalization and organic production”. Series: “Smart Innovation, Systems and Technologies”. Saint Petersburg, 2022. Pp. 207–220.
4. Придорогин М. В., Гордеев А. С., Попов Н. С., Пещерова О. В., Чуксина Л. Н. Системный подход к цифровизации деятельности садоводческих предприятий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2020. № 1 (75). С. 115–124. DOI: 10.17277/voprosy.2020.01.pp.115-124.
5. Мишулов Н. П., Кондратьева О. В., Федоренко В. Ф., Федоров А. Д., Слинько О. В., Войтюк В. А. Цифровые системы и роботизированные технические средства для садоводства: аналитический обзор. Москва: Росинформротех, 2022. 80 с.
6. Трухачев В. И. Интенсивные технологии в развитии отечественного садоводства // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 3. с. 44–47. DOI: 10.32651/203-44.
7. Велибекова Л. А. Экономические аспекты производства и потребления свежей и переработанной плодово-ягодной продукции // АПК: экономика, управление. 2022. № 6. С. 72–80. DOI: 10.33305/226-72.
8. Протасова Л. Г., Набоков В. И. Состояние производства и качества плодовоовощной продукции // Аграрный вестник Урала. 2022. Специальный выпуск «Экономика» (228). С. 70–79. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-70-79.
9. Сайфетдинов А. Р., Лягоскина Н. Р. Современное состояние и направления развития отечественного плодового хозяйства в условиях реализации программы импортозамещения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65, № 1 (385). С. 79–84. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_1_79.
10. Zhang M., Jin Y., Zheng F., Qiao H. Product quality asymmetry and food safety: Investigating the “one farm household, two production systems” of fruit and vegetable farmers in China // China Economic Review. 2017. Vol. 45, No. 9. Pp. 232–243. DOI: 10.1016/j.chieco.2017.07.009.
11. Dhiman P., Kaur A., Hamid Y., Alabdulkreem E., Elmannai H., Ababneh N. Smart Disease Detection System for Citrus Fruits Using Deep Learning with Edge Computing // Sustainability. 2023. Vol. 15, Iss. 5. Article number 4576. DOI: 10.3390/su15054576.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели по субъектам Российской Федерации. Приложение к сборнику. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210> (дата обращения: 24.08.2023).
13. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13292> (дата обращения: 25.08.2023).
14. Официальный сайт Министерства здравоохранения Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual> (дата обращения: 24.08.2023).
15. Официальный сайт межгосударственного статистического комитета содружества независимых государств [Электронный ресурс]. URL: <https://new.cisstat.org/Балансы-важнейших-видов-продовольствия> (дата обращения: 28.08.2023).
16. Войтюк В. А., Слинько О. В. Инновации в развитии садоводства // Цифровизация отраслей АПК и аграрного образования: материалы III Международной научно-практической конференции «Андреевские чтения». Москва, 2022. С. 383–391.
17. Терновых К. С., Леонова Н. В. Развитие садоводства на основе инновационных преобразований // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Часть III. Воронеж, 2021. С. 265–271.
18. Давлетшин И., Трофимов А. Цифровой передел. Преимущества и риски цифровизации сельского хозяйства // Агроинвестор. Агротехника и технологии. 19 сентября 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/30405-tsifrovoy-peredel> (дата обращения: 15.08.2023).
19. Загоровская В. Под дождем. Управление системами орошения: на пути к цифровизации // Агроинвестор. Агротехника и технологии. 16 мая 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/33720-pod-dozhdem-upravlenie-sistemami-orosheniya-na-puti-k-tsifrovizatsii> (дата обращения: 17.08.2023).

20. Сельское хозяйство в России. 2021. Стат. сб. Приложения [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> (дата обращения: 04.08.2023).
21. Корнилова Л. М., Иванов Е. А., Иванов П. А. Стимулирование инновационной активности сельскохозяйственных организаций основа цифровизации АПК // Инновационное развитие экономики. 2018. № 5 (47). С. 52–58.
22. Велибекова Л. А. Интеллектуальные системы в садоводстве: возможности и направления использования // Цифровые технологии в АПК: состояние, потенциал и перспективы развития: сборник научных трудов I Всероссийской научно-практической конференции. Махачкала, 2019. С. 28–32.
23. Старостина Л., Трофимов А. «Умный сад». Что сдерживает роботизацию садоводства // Агроинвестор. Агротехника и технологии. 15 ноября 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/39230-umnyy-sad-cto-sderzhivaet-robotizatsiyu-sadovodstva> (дата обращения: 01.08.2023).
24. Косников С. Н., Чаленко А. С., Меликов Э. Р. Преимущества и проблемы цифровизации сельского хозяйства // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 42 (4). С. 137–140.
25. Митяева Н. В., Заводилов О. В. Барьеры цифровой трансформации и пути их преодоления // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2019. № 3 (77). С. 20–24.
26. Bacco M., Barsocchi P., Ferro E., Gotta A., Ruggeri M. The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming // Array. 2019. Vol. 3–4. DOI: 10.1016/j.array.2019.100009.
27. Hassoun A., Marvin H. J. P., Bouzembrak Y., Barba F. J., Castagnini J. M., Pallarés N., Rabail R., Aadil R. M., Bangar S. P., Bhat R., Cropotova J., Maqsood S., Regenstein J. M. Digital transformation in the agri-food industry: recent applications and the role of the COVID-19 pandemic // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2023. Vol. 7. Article number 1217813. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1217813.
28. Палаткин И. В., Репкин А. Ю. Экономические условия создания сельскохозяйственных потребительских кооперативов по выращиванию и переработке плодово-ягодной продукции // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2022. № 1. С. 23–30. DOI: 10.37984/2076-9288-2022-1-23-30.
29. Zhang Y., Lu Q., Yang Ch., Grant M. Cooperative membership, service provision, and the adoption of green control techniques: Evidence from China // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 384. Article number 135462. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135462.
30. Палаткин И. В., Хашир А. А., Репкин А. Ю. Организационно-экономические подходы создания и развития кооперативов по переработке и реализации плодов, орехов, ягод и овощей // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 4 (73). С. 154–161. DOI: 10.33938/214-154.
31. Кочетов А. Ягоды в смартфоне: как приложение изменило бизнес на дикоросах [Электронный ресурс] // РБК. 24 октября 2022 г. URL: <https://plus.rbc.ru/specials/yagody-karelii> (дата обращения: 07.08.2023).
32. Рыжкова С. М., Кручинина В. М. Значение потребительской кооперации для развития рынка плодов и ягод в условиях импортозамещения // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2015. № 3 (55). С. 307–315.
33. Ефремов И. А. Организационно-экономические аспекты инновационного развития садоводства: дис. ... канд. экон. наук. Воронеж, 2021. 187 с.

Об авторе:

Евгения Александровна Рахимова, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; ORCID 0000-0002-2543-3529, AuthorID 480467. E-mail: rakhimova.e@speras.ru

References

1. The concept of scientific and technological development of digital agriculture “Digital agriculture” [Internet]. 2022 [cited 2023 Aug 10]. Available from: <https://cctmex.ru/upload/iblock/97d/97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf> (In Russ.)
2. Kostyaev A. I., Surovtsev V. N., Ronzhin A. L. Digitalization of agriculture and organic production. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021; 91 (12): 1179–1182. DOI: 10.31857/S0869587321120070 (In Russ.)
3. Dibirov A., Dibirova Kh. Prospects and problems of digitalization of the agricultural economy. International Conference “Agriculture digitalization and organic production”. Series: “Smart Innovation, Systems and Technologies”. Saint Petersburg, 2022: 207–220.

4. Pridorogin M. V., Gordeev A. S., Popov N. S., Peshcherova O. V., Chuksina L. N. A systematic approach to the digitalization of horticultural enterprises. *Problems of Contemporary Science and Practice*. Vernadsky University. 2020; 1 (75): 115–124. DOI: 10.17277/voprosy.2020.01. Pp.115-124 (In Russ.)
5. Mishurov N. P., Kondratyeva O. V., Fedorenko V. F., Fedorov A. D., Slin'ko O. V., Voytyuk V. A. Digital Systems and Robotic Tools for Horticulture: analytical review. Moscow: Rosinformagrotekh, 2022. 80 p. (In Russ.)
6. Trukhachev V. I. Intensive technologies in the development of domestic horticulture. *Economics of Agriculture of Russia*. 2020; 3: 44–47. DOI: 10.32651/203-44. (In Russ.)
7. Velibekova L. A. Economic aspects of production and consumption of fresh and processed fruit and berry products. *AIC: economics, management*. 2022; 6: 72–80. DOI: 10.33305/226-72. (In Russ.)
8. Protasova L. G., Nabokov V. I. State of production and qualities of fruits and vegetables. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 228 (Special issue “Economy”): 70–79. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-70-79. (In Russ.)
9. Sayfetdinov A. R., Lyagoskina N. R. The current state and directions of development of domestic fruit growing in the context of the implementation of the import substitution program. *International Agricultural Journal*. 2022; 65 (1): 79–84. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_1_79. (In Russ.)
10. Zhang M., Jin Y., Zheng F., Qiao H. Product quality asymmetry and food safety: Investigating the “one farm household, two production systems” of fruit and vegetable farmers in China. *China Economic Review*. 2017; 45 (9): 232–243. DOI: 10.1016/j.chieco.2017.07.009
11. Dhiman P., Kaur A., Hamid Y., Alabdulkreem E., Elmannai H., Ababneh N. Smart Disease Detection System for Citrus Fruits Using Deep Learning with Edge Computing. *Sustainability*. 2023; 15 (5): 4576. DOI: 10.3390/su15054576.
12. Regions of Russia. Socio-economic indicators for the constituent entities of the Russian Federation. Appendix to the collection. 2022: Statistical collection. [Internet]. 2022 [cited 2023 Aug 24]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210> (In Russ.)
13. Official website of the Federal State Statistics Service. Household food consumption [Internet]. [cited 2023 Aug 25] Available from: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13292>. (In Russ.)
14. Official website of the Ministry of Health of the Russian Federation [Internet]. [cited 2023 Aug 24]. Available from: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual>. (In Russ.)
15. Official website of the Interstate Statistical Committee of the Commonwealth of Independent States [Internet]. [cited 2023 Aug 28]. Available from: <https://new.cisstat.org/Балансы-важнейших-видов-продовольствия>. (In Russ.)
16. Voytyuk V. A., Slin'ko O. V. Innovations in the development of horticulture. Digitalization of the agro-industrial complex and agricultural education: materials of the III International Scientific and Practical Conference “Andreev Readings”. Moscow, 2022. Pp. 383–391. (In Russ.)
17. Ternovyykh K. S., Leonova N. V. Development of horticulture based on innovative transformations. Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the national scientific and practical conference. Part III. Voronezh, 2021. Pp. 265–271. (In Russ.)
18. Davletshin I., Trofimov A. Digital redistribution. Advantages and risks of digitalization of agriculture. *Agroinvestor. Agrotehnika i tehnologii* [Internet] September 19, 2018 [cited 2023 Aug 15]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/30405-tsifrovoy-peredel>. (In Russ.)
19. Zagorovskaya V. Under rain. Irrigation system management: on the way to digitalization. *Agroinvestor. Agrotehnika i tehnologii* [Internet]. May 16, 2020 [cited 2023 Aug 17]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/33720-pod-dozhdem-upravlenie-sistemami-orosheniya-na-puti-k-tsifrovizatsii>. (In Russ.)
20. Agriculture in Russia. 2021. Statistics collection. Applications [Internet]. 2021 [cited 2023 Aug 04]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>. (In Russ.)
21. Kornilova L. M., Ivanov E. A., Ivanov P. A. Stimulating the innovative activity of agricultural organizations is the basis of digitalization of the agro-industrial complex. *Innovative development of economy. Journal*. 2018; 5 (47): 52–58. (In Russ.)
22. Velibekova L. A. Intelligent systems in horticulture: opportunities and areas of use. Digital technologies in the agro-industrial complex: state, potential and development prospects: collection of scientific papers of the I All-Russian Scientific and Practical Conference. Makhachkala, 2019. Pp. 28–32. (In Russ.)
23. Starostina L., Trofimov A. “Smart Garden”. What is holding back the robotization of gardening? [Internet]. *Agroinvestor. Agrotehnika i tehnologii*. November 15, 2022 [cited 2023 Aug 01]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/39230-umnyy-sad-chto-sderzhivaet-robotizatsiyu-sadovodstva>. (In Russ.)
24. Kosnikov S. N., Chalenko A. S. Benefits and challenges of digitalization of agriculture. *Natural-humanities studies*. 2022; 42 (4): 137–140. (In Russ.)

25. Mityaeva N. V., Zavodilo O. V. Barriers to digital transformation and ways to break hem. Vestnik of Saratov State Socio-Economic University. 2019; 3 (77): 20–24. (In Russ.)
26. Bacco M., Barsocchi P., Ferro E., Gotta A., Ruggeri M. The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming. Array. 2019; 3–4. DOI: 10.1016/j.array.2019.100009.
27. Hassoun A., Marvin H. J. P., Bouzembrak Y., Barba F. J., Castagnini J. M., Pallarés N., Rabail R., Aadil R. M., Bangar S. P., Bhat R., Cropotova J., Maqsood S., Regenstein J. M. Digital transformation in the agri-food industry: recent applications and the role of the COVID-19 pandemic. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2023; 7: 1217813. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1217813.
28. Palatkin I. V., Repkin A. Yu. Economic conditions for creating agricultural consumer cooperatives for growing and processing fruit and berry products. Fundamental and Applied Research Studies of the Economics Cooperative Sector. 2022; 1: 23–30. DOI: 10.37984/2076-9288-2022-1-23-30. (In Russ.)
29. Zhang Y., Lu Q., Yang Ch., Grant M. Cooperative membership, service provision, and the adoption of green control techniques: Evidence from China. Journal of Cleaner Production. 2023; 384: 135462. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135462.
30. Palatkin I. V., Khashir A. A., Repkin A. Yu. Organizational and economic approaches to the creation and development of cooperatives for processing and sale of fruits, berries and vegetables. Economy, Labor, Management in agriculture. 2021; 4 (73): 154–161. DOI: 10.33938/214-154. (In Russ.)
31. Kochetov A. Berries on a smartphone: how an application changed the wild-growing business. RBC. October 24. [Internet]. 2022 [cited 2023 Aug 07]. Available from: <https://plus.rbc.ru/specials/yagody-karelii>. (In Russ.)
32. Ryzhkova S. M., Kruchinina V. M. The importance of consumer cooperation for the development of the fruit and berry market in conditions of import substitution. Herald of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. 2015; 3 (55): 307–315. (In Russ.)
33. Efremov I. A. Organizational and economic aspects of innovative development of horticulture: dissertation ... candidate of economic sciences. Voronezh, 2021. 187 p. (In Russ.)

Author's information:

Evgeniya A. Rakhimova, candidate of economic sciences, assistant professor, leading researcher, Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agricultural Economics and Rural Development, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; ORCID 0000-0002-2543-3529, AuthorID 480467.

E-mail: rakhimova.e@spcras.ru

Оценка и направления повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства

И. А. Родионова[✉], М. А. Болохонов, О. А. Васильева, В. В. Торопова

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

[✉]E-mail: rodionov56@yandex.ru

Аннотация. В современных условиях высокого санкционного давления обострились системные проблемы, препятствующие эффективному развитию аграрного производства. Повышение инвестиционной привлекательности сельского хозяйства становится основным вектором и необходимым условием противостояния негативным экзогенным факторам и обеспечения устойчивого роста сельского хозяйства. **Предметом исследования** выступают организационно-экономические отношения, складывающиеся в процессе поиска направлений повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства. **Цель исследования** заключается в оценке и научном обосновании направлений повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства. **Задачи исследования:** 1) уточнить сущностное содержание понятия «инвестиционная привлекательность сельского хозяйства»; 2) провести оценку инвестиционной привлекательности отрасли; 3) определить направления роста инвестиционной привлекательности сельского хозяйства. Основными **методами исследования** являются монографический, статистический, графический. **Результаты.** В статье проведена аналитическая оценка инвестиционной привлекательности сельского хозяйства России. Проанализированы отдельные элементы (природно-ресурсные, производственные, инновационные, финансово-экономические и трудовые) инвестиционного потенциала сельского хозяйства. Обоснованы инвестиционные риски отрасли. Сделаны выводы, что инвестиционная привлекательность сельского хозяйства является достаточно низкой, несмотря на имеющийся потенциал ее роста за счет возможностей использования существенного природно-ресурсного потенциала; высокого уровня адаптации отрасли к внешним негативным факторам воздействия; благоприятных природно-климатических условий; значительного экспортного потенциала отрасли. **Научная новизна.** Заключается в разработке предложений по повышению инвестиционной привлекательности сельского хозяйства на основе трансформации ключевых институциональных параметров: совершенствования нормативно-правовой базы земельного реформирования; развития механизмов государственно-частного партнерства и проектного финансирования с государственной гарантией, изменения отраслевой структуры за счет роста технологичности отрасли и использования инноваций, изменения условий кредитования сельского хозяйства.

Ключевые слова: экономика, отрасль, сельское хозяйство, инвестиции, инвестиционная привлекательность, инвестиционный потенциал, инвестиционные риски, инновации, государственное регулирование

Для цитирования: Родионова И. А., Болохонов М. А., Васильева О. А., Торопова В. В. Оценка и направления повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 430–439. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-430-439>.

Дата поступления статьи: 20.10.23, **дата рецензирования:** 05.11.2023, **дата принятия:** 23.11.2023.

Assessment and directions of increasing the investment attractiveness of agriculture

I. A. Rodionova[✉], M. A. Bolokhonov, O. A. Vasilyeva, V. V. Toropova

Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia

[✉]E-mail: rodionov56@yandex.ru

Abstract. In modern conditions of high sanctions pressure, systemic problems that hinder the effective development of agricultural production have worsened. Increasing the investment attractiveness of agriculture is becoming the main vector and a necessary condition for countering negative exogenous factors and ensuring sustainable agricultural growth. **The subject of the study** is organizational and economic relations that develop in the process of searching for ways to increase the investment attractiveness of agriculture. **The purpose of the study** is to evaluate and scientifically substantiate the directions of increasing the investment attractiveness of agriculture. **Research objectives:** 1) to clarify the essential content of the concept of “investment attractiveness of agriculture”; 2) to assess the investment attractiveness of the industry; 3) to determine the directions of growth of investment attractiveness of agriculture. The main research methods are monographic, statistical, graphical. **Results.** The article provides an analytical assessment of the investment attractiveness of agriculture in Russia. The individual elements (natural resource, production, innovation, financial, economic and labor) of the investment potential of agriculture are analyzed. The investment risks of the industry are justified. It is concluded that the investment attractiveness of agriculture is quite low, despite the existing potential for its growth due to the possibilities of using significant natural resource potential; a high level of adaptation of the industry to external negative factors of impact; favorable natural and climatic conditions; significant export potential of the industry. **The scientific novelty.** It consists in developing proposals to increase the investment attractiveness of agriculture based on the transformation of key institutional parameters: improving the regulatory framework for land reform; developing mechanisms for public-private partnership and project financing with a state guarantee, changing the industry structure due to the growth of the industry’s technology and the use of innovations, changing the terms of lending to agriculture.

Keywords: economy, industry, agriculture, investment, investment attractiveness, investment potential, investment risks, innovation, government regulation

For citation: Rodionova I. A., Bolokhonov M. A., Vasilyeva O. A., Toropova V. V. Assessment and directions of increasing the investment attractiveness of agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 224 (03): 430–439. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-430-439>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.10.23, **date of review:** 05.11.2023, **date of acceptance:** 23.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Современная аграрная экономическая политика страны направлена на обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства, однако последствия введенных санкций пагубно отражаются на экономическом состоянии отрасли. Темпы роста экономики России находятся на низком уровне, что, по мнению отдельных исследователей свидетельствует о процессе стагнации [5]. Обострились системные проблемы, такие как рост инфляции и нестабильность национальной валюты, сокращение объемов инвестиций в основной капитал отрасли и увеличение износа основных производственных фондов предприятий, снижение реальных доходов населения, сокращение расходов на науку и образование.

Между тем сельское хозяйство остается одной из немногих отраслей экономики, способных кон-

курировать на международном рынке. Доля сельского хозяйства в ВВП России на протяжении длительного времени составляет неизменную величину – 4,3 %, в то время как во многих странах мира наблюдается снижение данного показателя из-за роста индустриализации и реаллокации человеческого капитала. Несмотря на санкционное давление, в 2022 году Россия заняла 17-ю позицию в топ-20 крупнейших поставщиков продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья. Экспорт продукции АПК страны составил 2 трлн долл., что на 7,4 % выше, чем в 2021 году. В этой связи одним из векторов устойчивого развития сельского хозяйства и необходимым условием противостояния негативным экзогенным факторам является повышение его инвестиционной привлекательности [17].

Вопросы сущностного содержания инвестиционной привлекательности сельского хозяйства

достаточно широко исследованы. Однако ввиду отсутствия в законодательных и других нормативных актах Российской Федерации четкого определения данного термина многие авторы его уточняют и существенно дополняют друг друга. Так, В. В. Литвинова считает, что инвестиционная привлекательность – это интегральная характеристика среды инвестирования, которая формируется на основе оценки инвестиционного потенциала и инвестиционного риска региона и отражает субъективное восприятие региона потенциальным инвестором [9]. М. А. Санович инвестиционную привлекательность рассматривает как потенциальную эффективность вложений (инвестиций) в проект на данной территории [15], а Г. П. Литвинцева – как состояние региональной экономики, сформированной существующими инвестиционным потенциалом и рисками, подтвержденной совокупностью экономических, финансовых, инвестиционных, институциональных, социальных и других показателей территории [10]. П. Х. Азимов под инвестиционной привлекательностью понимает свойства, качества, параметры потенциального объекта инвестирования, отраженные в той или иной форме в видении потенциального инвестора [1]. Наиболее полно, с нашей точки зрения, понятие инвестиционной привлекательности сельского хозяйства раскрывают В. А. Цветков, А. А. Шутьков с соавторами, которые считают, что это системный критерий, характеризующий качество институциональной среды, ресурсный потенциал отрасли, доходность инвестиционных вложений в отраслевые активы, их окупаемость, эффективность эксплуатации этих активов, а также возможностей и ограничений их передачи в управление [19].

Практически все авторы сходятся во мнении, что основными составляющими данной категории являются инвестиционный потенциал и инвестиционный риск. Во многом это обусловлено разработанными и практически применяемыми методологиями. Наиболее известной считается методология рейтинговой оценки регионов РФ агентства «Эксперт РА», согласно которой инвестиционная привлекательность рассматривается тождественной понятию «инвестиционный климат» и включает в себя две составляющие: инвестиционный потенциал (объективные возможности государства) и инвестиционный риск (условия деятельности инвестора) [8].

С нашей точки зрения, инвестиционная привлекательность сельского хозяйства определяется наличием благоприятных для долгосрочных капиталовложений условий, а основными составляющими ее являются инвестиционный потенциал и инвестиционный риск. Инвестиционный потенциал при-

менительно к сельскому хозяйству следует рассматривать через призму динамических и структурных параметров совокупности природно-ресурсного, производственного, инновационного, трудового и финансово-экономического потенциалов (рис. 1).

Инвестиционный риск указывает на вероятность потери инвестиций и доходов от них и напрямую зависит от политической, социальной, экономической, экологической ситуации, складывающейся в сельском хозяйстве.

Методология и методы исследования (Methods)

Основой исследования послужили труды зарубежных и отечественных ученых, посвященные теоретическим и практическим аспектам повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства, официальные статистические данные и документы государственных и целевых программ развития сельского хозяйства Российской Федерации. При написании работы были применены монографический, статистический, графический методы исследования.

Результаты (Results)

Природно-ресурсный потенциал оказывает наиболее существенное влияние на инвестиционную привлекательность сельского хозяйства, определяющим элементов которого считается земля. По состоянию на 1 января 2021 года общая площадь сельскохозяйственных угодий в России составляла 197,8 млн га, из них пашня – 116,2 млн га. На протяжении длительного периода времени наблюдалась негативная тенденция сокращения сельскохозяйственных угодий в стране. Среди основных причин эксперты называют прекращение деятельности значительного числа сельхозтоваропроизводителей из-за недостаточности финансовых, трудовых и материальных ресурсов, необходимых для ведения аграрного производства. Только в 2020 году площадь ликвидированных в результате банкротств сельскохозяйственных организаций земель составила в стране 15,3 млн га. Несмотря на это, динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур в России в последние годы положительная (рис. 2).

Только за период 2011–2021 гг. посевные площади в России были увеличены на 5,4 %, или 4152,0 тыс. га. Увеличение посевных площадей привело к росту валового сбора основных сельскохозяйственных культур. Отдельные исследователи указывают на то, что уровень развития сельского хозяйства остается низким даже по сравнению с периодом начала рыночных реформ. Официальная статистика приводит обратные данные. В 1990 году валовой сбор зерна составил рекордные 116,7 млн т, а в 2022 году в России собрали 153,8 млн т, что на 31,8 % больше.



Рис. 1. Элементы инвестиционного потенциала сельского хозяйства

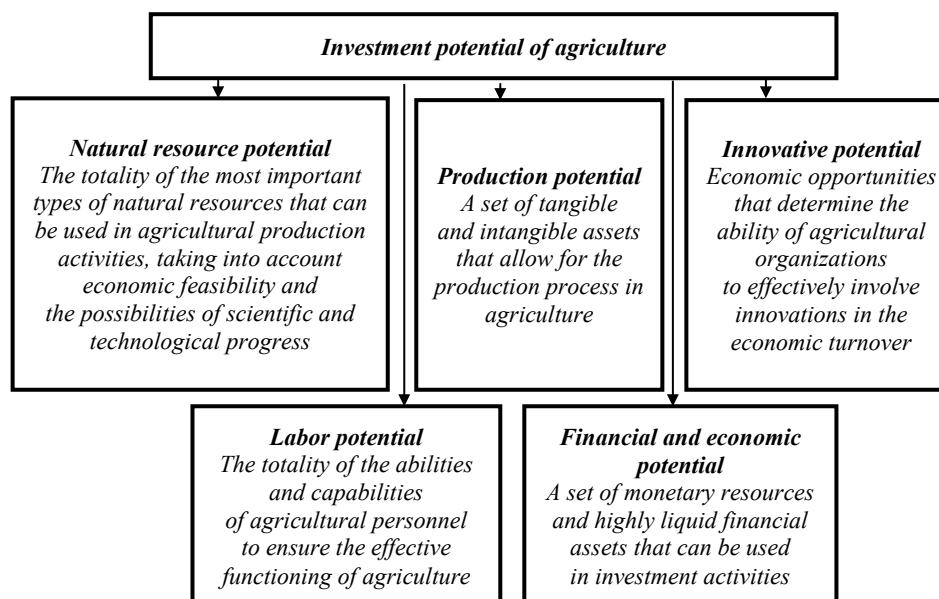


Fig. 1. Elements of the investment potential of agriculture

Решению проблемы повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства препятствует нерешенный вопрос значительного количества неиспользуемых сельскохозяйственных земель, площадь которых в России составляет в 44 млн га, или около 12,0 %, из них 20 млн га – это пашня. В зависимости от региона размер площади неиспользуемой пашни варьируется. Так, в Волгоградской области он составляет 2,7 млн га, а в Удмуртской Республике – 0,5 млн га. Регионы– лидеры аграрного производства принимают соответ-

ствующие решения о возвращении в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель. Этому способствует Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. N 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации», где в качестве основной задачи предусмотрено возвращение в оборот 13,2 млн га неиспользуемых сельхозземель в среднем около 1,2 млн га в год [2].



Рис. 2. Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур в России, тыс. га
Fig. 2. Dynamics of sown areas of agricultural crops in Russia, thousand ha



Рис. 3. Динамика коэффициентов роста валовой продукции сельского хозяйства и инвестиций в основной капитал
Fig. 3. Dynamics of growth coefficients of gross agricultural output and investments in fixed assets

Например, только за 2022 год Россельхознадзор по Саратовской и Самарской областям в ходе контрольно-надзорных мероприятий обследовал 147 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения, по результатам которого было выявлено 842 нарушения, связанных с неиспользованием земель и зарастанием земельных участков сорной и древесно-кустарниковой растительностью, привлечены к ответственности 29 лиц, наложены штрафы на 830 тыс. руб. Площадь неиспользуемых сельхозугодий в Саратовской области оставляет около 326 тыс. га, и за последние пять лет этот показатель уменьшился на 53,0 %, или на 360 тыс. га. В результате посевная площадь в Саратовской области за 2011–2023 гг. возросла на 18,3 %, или 651 тыс. га, и составила 4219 тыс. га. Данная государственная программа позволяет решать и экологические проблемы сельских территорий путем реализации локальных или региональных проектов реконструкции мелиоративных сооружений, очистки рек и т. п. [14].

Только за счет природно-ресурсного потенциала можно, по мнению Ю. П. Бондаренко, увеличить объемы производства продукции растениеводства от 18,0 % до шести раз при условии сохранения существующей интенсивности производства, тем самым увеличив инвестиционную привлекательность отрасли [4]. Среди прочих причин, снижающих уровень вовлечения неиспользуемых сельскохозяйственных земель в оборот, исследователи отмечают следующие:

- сокращение уровня государственного субсидирования сельского хозяйства, который за время действия международных санкций в России в расчете на 1000 га посевных площадей снизился в подавляющем большинстве регионов;
- экономическая нецелесообразность рекультивации длительно неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения;
- длительный срок окупаемости инвестиций в сельском хозяйстве при отсутствии привлекательных условий кредитования сельскохозяйственных товаропроизводителей под залог земельных участков данной категории;

Таблица 1

Динамика структуры инвестиции в основной капитал, направленные на развитие сельского хозяйства по источникам финансирования

Показатель	Годы				
	2017	2018	2019	2020	2021
Инвестиции в основной капитал – всего, в том числе:	100	100	100	100	100
собственные средства	56,3	52,1	52,9	54,6	60,5
привлеченные средства	43,7	47,9	47,1	45,4	39,5
из них бюджетные средства	2,8	2,2	2,4	1,7	...
в том числе:					
из федерального бюджета	1,1	1,0	1,3	0,9	...
бюджетов субъектов Российской Федерации	1,6	1,0	1,0	0,7	...
местных бюджетов	0,1	0,2	0,1	0,1	...

Economy

Table 1

Dynamics of the structure of investments in fixed assets aimed at the development of agriculture by sources of financing

Indicator	Years				
	2017	2018	2019	2020	2021
Investments in fixed assets – total, including:	100	100	100	100	100
own funds	56.3	52.1	52.9	54.6	60.5
raised funds	43.7	47.9	47.1	45.4	39.5
of these, budgetary funds:	2.8	2.2	2.4	1.7	...
including from:					
federal budget	1.1	1.0	1.3	0.9	...
budgets of the subjects of the Russian Federation	1.6	1.0	1.0	0.7	...
local budgets	0.1	0.2	0.1	0.1	...

– большие финансовые затраты, связанные с оформлением необходимых документов для легального ведения сельскохозяйственной деятельности [11].

Наибольшее влияние на инвестиционную привлекательность сельского хозяйства оказывает производственный потенциал, в котором особое место занимает показатель размера инвестиций в основной капитал отрасли. Влияние инвестиций на состояние сельского хозяйства можно оценить, сопоставив коэффициенты роста объемов производства и инвестиций (рис. 3).

Производство сельскохозяйственной продукции на протяжении всего анализируемого периода сохраняло устойчивые темпы роста, в то время как динамика инвестиций имела циклический характер развития. В 2014 году сельское хозяйство России испытало два сильнейших воздействия, существенно снизивших его конкурентоспособность: продовольственное эмбарго и девальвацию рубля. В результате этих событий продовольственный импорт сократился на 30–60 % в сравнении с 2013 г, а продовольственная инфляция увеличилась до 15 % [7].

Отечественные сельхозпроизводители оказались в неоднозначном положении: с одной стороны, появилась возможность расширения производства, а с другой – резко возросли цены на материально-технические ресурсы. Однако сельское хозяйство достаточно активно откликнулось на возникшие стимулы и смогло преодолеть негативную дина-

мику [13]. С 2016 года инвестиции в сельское хозяйство показывали в целом устойчивый рост, что было связано с благоприятной ценовой конъюнктурой на мировых аграрных рынках, высоким экспортным спросом, а также с государственной поддержкой. Но темпы их роста остаются крайне низкими. За период 2011–2021 гг. объем инвестиций в основной капитал сельского хозяйства в действующих ценах увеличился лишь на 13,0 % и составил 503,2 млрд руб. Увеличение производственных показателей сопровождалось ростом производительности труда в основном за счет оптимизации использования трудового потенциала. За 2011–2021 гг. прирост производительности труда в сельском хозяйстве составил 39,1 %, в то время как в целом по экономике – только 9,2 % [21].

Именно этот период характеризовался расширением экспорта и изменил конкурентные позиции аграрных российских производителей на мировом рынке. Темпы роста экспорта сельскохозяйственного сырья и продовольствия (15,8 %) оказались выше среднемировых величин. Ориентация на аграрный экспорт позволила начать модернизацию производственно-технологической структуры всего АПК на инновационной основе.

В 2022–2023 гг. в результате огромного санкционного давления наблюдается повторение неблагоприятной ситуации, возникшей в 2014 году: разрушение логистических цепочек поставок матери-

ально-технических средств, девальвация рубля, высокая продовольственная инфляция. Преодолению кризиса могут способствовать повышение прямой государственной поддержки, развитие механизмов государственно-частного партнерства и проектного финансирования с государственной гарантией, переориентация экспорта продовольствия в пользу стран Ближнего Востока, Китая, Индии, Африки [16; 18].

Определенный интерес представляет анализ структуры источников финансирования инвестиций в основной капитал в сельском хозяйстве (таблица 1)

Главным источником финансирования инвестиций в основной капитал сельского хозяйства являются собственные средства предприятий (60,5 %). Происходит сокращение бюджетной поддержки на всех уровнях. Среди основных причин низкой инвестиционной активности сельских товаропроизводителей О. А. Шапорова, Н. В. Куканова выделяют следующие: закредитованность и ограниченный доступ к льготным кредитным ресурсам, низкую доходность сельскохозяйственных организаций, снижение уровня государственной поддержки [20]. Учитывая рост учетной ставки ЦБ и, как следствие, увеличение процентов по кредитованию, а также сокращение бюджетных инвестиционных расходов, проблема инвестиционной недостаточности может обостриться в ближайшее время, а это отрицательно скажется на состоянии всей аграрной сферы. Уже сейчас можно констатировать снижение закупок основных видов сельскохозяйственной техники. Только за период 2021–2023 гг. было закуплено меньше на 3,7 тыс. ед. тракторов, на 1,9 и 0,1 тыс. ед. соответственно зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов. Как отмечают И. Г. Ушачев, А. В. Колесников с соавторами, в зоне риска находится импортная сельскохозяйственная техника, поставки которой осуществлялись из стран Европы и США, при этом мощности отечественного машиностроения не смогут удовлетворить спрос в полном объеме. Данная ситуация усугубляется тем, что темпы износа сельскохозяйственной техники опережают темпы ее обновления. Например, коэффициент выбытия комбайнов в 2022 г. составил 10,0 %, а обновления – только 5,0–6,0 % [18]. В то же время необходимо отметить, что в целом энергообеспеченность сельского хозяйства выросла в основном за счет использования более высокопроизводительной техники. С 2018 года энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций России увеличилась на 3,1 % и составила в 2022 году 154,8 л. с. / 100 га.

Дефицит инвестиционных ресурсов ведет к снижению уровня инновационной активности сельскохозяйственных организаций, в то время как инновационный потенциал остается достаточно высоким. Внутренние затраты на научные исследования

и разработки в сельском хозяйстве увеличиваются медленными темпами при сохранении минимальной доли (2,6 %) в общем объеме затрат на эти цели по стране. Медленно развивается рынок агротехнологий. По данным АО «Россельхозбанк», в настоящее время в России зарегистрировано 220 стартапов, готовых разрабатывать и предлагать оптимальные решения по многим направлениям. Наиболее востребованными являются стартапы, занимающиеся биотехнологиями (24,0 %), интернетом вещей (IoT) (13,0 %) и технологиями точного земледелия (12,0 %).

Наиболее полно уровень инвестиционной привлекательности характеризуют показатели финансово-экономического потенциала. В 2022 году 86,1 % сельскохозяйственных организаций были прибыльными. Прибыль до налогообложения (с учетом субсидий) составила 789,2 млрд руб., что на 9,5 % ниже, чем в 2021 году. Уровень рентабельности в среднем по стране составил 16,3 %.

Свыше 55,0 % сельскохозяйственных организаций страны имеет уровень рентабельности до 30,0 %, а высокорентабельными являются 31,0 % организаций. О. В. Ермолова, В. В. Кирсанов справедливо считают, что главными причинами снижения доходности производителей отрасли явились ужесточение спросовых ограничений на внутреннем продовольственном рынке, обусловленные сокращением оборота розничной торговли и снижением реальных доходов населения, увеличением издержек производства и перераспределением полученного совокупного дохода в пользу несельскохозяйственных звеньев продуктовых цепочек добавленной стоимости, а также нарушением ценового паритета [21].

Трудовой потенциал играет заметную роль в повышении инвестиционной привлекательности сельского хозяйства. Устойчивое развитие отрасли во многом определяется качеством трудовых ресурсов, степенью их мобильности, мотивации к труду и нововведениям. Несмотря на устойчивый положительный тренд в производстве сельскохозяйственной продукции, проблемы использования трудового потенциала остаются крайне острыми. Труд в сельском хозяйстве становится малопривлекателен для большинства россиян прежде всего из-за низкого уровня оплаты труда (медианная зарплата составляет 40 тыс. руб.) и сложных условий работы, в том числе связанных с пребыванием на открытом воздухе.

Значительную часть вакансий с низкими квалификационными требованиями занимают мигранты, количество которых в настоящее время снижается. Вследствие этого многие аграрные предприятия столкнулись с ощутимой нехваткой рабочей силы. По данным Росстата, в 2022 году число вакансий в сфере сельского хозяйства увеличилось на 27,0 %. Наиболее востребованными являются такие специ-

алисты, как трактористы-машинисты, агрономы, инженеры, зоотехники. Отдельные исследователи, в частности Т. В. Блинова, отмечают, что рост занятости аграрного населения осуществляется через механизм диверсификации рабочих мест за счет расширения спектра несельскохозяйственных видов деятельности и поддержки малого бизнеса в сельской местности [3]. При этом отрицательный демографический тренд ограничивает развитие трудоемких отраслей и увеличивает технологическое отставание от мировых экономических лидеров.

Инвестиционная привлекательность сельского хозяйства во многом определяется и инвестиционными рисками, среди которых основными являются следующие:

- неустойчивое финансовое положение сельских товаропроизводителей;
- недостаточно развитая инновационная и рыночная инфраструктуры;
- повышенная волатильность цен в большинстве из секторов экономики;
- низкий уровень доступности значительной части сельскохозяйственных товаропроизводителей к инвестиционным кредитным ресурсам;
- региональные диспропорции развития сельского хозяйства;
- нестабильность мер государственной поддержки инвестиционного развития;
- снижение качества жизни сельского населения, что ведет к дальнейшему оттоку из села трудоспособных граждан.

Библиографический список

1. Азимов П. Х. Факторы инвестиционной привлекательности отраслей экономики // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2023. № 2 (66). С. 83–87. DOI: 10.17084/20764359-2023-66-83.
2. Андрищенко С. А., Черднichenко О. А. Интеграция целей устойчивого развития в государственные программы и бизнес-модели частного бизнеса // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 5 (389). С. 489–492. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_5_489.
3. Блинова Т. В., Былина С. Г. Современные тенденции демографического развития Саратовской области // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2022. № 3 (67). С. 82–90. DOI: 10.52452/18115942_2022_3_82.
4. Бондаренко Ю. П. Перспективы расширения посевных площадей в регионах России за счёт ввода в оборот неиспользуемой пашни // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 5. С. 29–38. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-5-29-38.
5. Иванова В. Н., Лукин Н. Д., Серегин С. Н. Устойчивое развитие АПК России: сила и слабость национальных проектов // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2020. № 1. С. 2–9. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-1-2-9.
6. Колесников А. В., Харина М. В. Оценка объемов производства основных видов сельскохозяйственной продукции на 2022 год // АПК: экономика, управление. 2022. № 6. С. 17–24. DOI: 10.33305/226-17.
7. Котырло Е. С., Никулина Ю. Н., Зайцев А. А. Долгосрочный тренд снижения занятости в российском сельском хозяйстве и политика контрсанкций: был ли эффект? // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2021. Т. 25, № 4. С. 515–539. DOI: 10.17323/1813-8691-2021-25-4-515-539.
8. Куриков В. М., Ташланова Ю. В. Методология оценки инвестиционной привлекательности региона // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 5-1. С. 99–103.
9. Литвинова В. В. Инвестиционная привлекательность и инвестиционный климат региона: монография. Москва: Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 2013. 116 с.
10. Литвинцева Г. П., Голдобина А. А. Факторы и пути повышения инвестиционной привлекательности региона // Идеи и идеалы. 2019. Т. 11. № 4-2. С. 243–266. DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.4.2-243-266.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенный анализ не позволяет признать достаточно высокий уровень инвестиционной привлекательности сельского хозяйства, несмотря на имеющиеся потенциальные возможности ее роста:

- существенный используемый природно-ресурсный потенциал и возможности его увеличения на основе новых отраслей, возникающих вследствие политики импортозамещения и влияния инновационной составляющей;
- высокий уровень адаптации отрасли к внешним негативным факторам воздействия;
- благоприятные природно-климатические условия;
- высокое качество производства сельскохозяйственного сырья и продовольствия;
- значительный экспортный потенциал отрасли.

Повышению инвестиционной привлекательности сельского хозяйства может способствовать трансформация ключевых институциональных параметров, таких как совершенствование нормативно-правовой базы земельного реформирования; увеличение прямой государственной поддержки, развитие механизмов государственно-частного партнерства и проектного финансирования с государственной гарантией, изменение отраслевой структуры за счет роста технологичности отрасли и использования инноваций, изменение условий кредитования сельского хозяйства.

11. Минаев П. А. Проблема выдела земель сельскохозяйственного назначения из земель общей долевой собственности // Наука без границ. 2021. № 6 (58). С. 95–101.
12. Ермолова О. В., Яковенко Н. А., Кирсанов В. В. Оценка структурных преобразований в агропродовольственном комплексе России // Продовольственная политика и безопасность. 2022. Т. 9. № 1. С. 49–66. DOI: 10.18334/ppib.9.1.114347.
13. Родионова И. А., Павлов В. Н., Будников М. Я. Оценка востребованности инноваций в малом агробизнесе // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2021. Т. 17, № 2. С. 337–360. DOI: 10.24891/ni.17.2.337.
14. Родионова И. А., Болохонов М. А., Торопова В. В., Васильева О. А. Оценка и направления стимулирования инновационной активности в сельском хозяйстве // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2023. Т. 19, № 4. С. 706–730. DOI: 10.24891/ni.19.4.706.
15. Санович М. А., Брагина М. С. Инвестиционная привлекательность региона: трактовка понятия и факторы ее определяющие // Актуальные вопросы современной экономики. 2021. № 11. С. 172–176.
16. Суханова И. Ф., Брызгалов Т. В. Экспортный потенциал расширенного воспроизводства продовольствия России в условиях эскалации экономических санкций и ограничений // АПК: экономика, управление. 2023. № 4. С. 60–72. DOI: 10.33305/234-60.
17. Трысячный В. И. Государственное стимулирование инвестиционной активности как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 2 (84). С. 193–196. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-284-193-196.
18. Ушачев И. Г., Колесников А. В., Харина М. В. Оценка объемов производства основных видов сельскохозяйственной продукции в России в 2023 году // АПК: экономика, управление. 2023. № 5. С. 3–11. DOI: 10.33305/235-3.
19. Цветков В. А., Шутьков А. А., Дудин М. Н., Лясников М. Н. Повышение инвестиционной привлекательности отрасли сельского хозяйства в России // Финансы: теория и практика. 2018. Т. 22. № 3. С. 6–21. DOI: 10.26794/2587-5671-2018-22-3-6-21.
20. Шапорова О. А., Куканова Н. В. Инвестиционное обеспечение аграрного сектора экономики: современное состояние и тенденции развития // Вестник аграрной науки. 2022. № 3 (96). С. 154–160. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.154.
21. Яковенко Н. А., Иваненко И. С., Воронов А. С. Тенденции развития российского экспорта агропродовольственной продукции в условиях санкционных ограничений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 598–602. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_598.

Об авторах:

Ирина Анатольевна Родионова, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой экономики агропромышленного комплекса, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0003-0902-4837, AuthorID 645771.

E-mail: rodionov56@yandex.ru

Михаил Александрович Болохонов, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики агропромышленного комплекса, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 689014.

E-mail: bolohonov@list.ru

Ольга Анатольевна Васильева, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики агропромышленного комплекса, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 722104. E-mail: olanvas20@mail.ru

Виктория Валерьевна Торопова, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики агропромышленного комплекса, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 717031.

E-mail: toropova_victoria@mail.ru

References

1. Azimov P. H. Factors of investment attractiveness of economic sectors. *Scholarly Notes of KNASTU*. 2023; 2 (66): 83–87. DOI: 10.17084/20764359-2023-66-83. (In Russ.)
2. Andryushenko S. A., Cherednichenko O. A. Integration of sustainable development goals into government programs and private business models. *International Agricultural Journal*. 2022; 5 (389): 489–492. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_5_489. (In Russ.)
3. Blinova T. V., Bylina S. G. Modern trends in the demographic development of the Saratov region. *Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni novgorod*. Series: Social Sciences. 2022; 3 (67): 82–90. DOI: 10.52452/18115942_2022_3_82. (In Russ.)

4. Bondarenko Yu. P. Prospects for the expansion of acreage in the regions of Russia due to the introduction of unused arable land into circulation. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2022; 5: 29–38. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-5-29-38. (In Russ.)
5. Ivanova V. N., Lukin N. D., Seregin S. N. Sustainable development of the Russian agro-industrial complex: strength and weakness of national projects. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2020; 1: 2–9. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-1-2-9. (In Russ.)
6. Kolesnikov A. V., Kharina M. V. Assessment of production volumes of the main types of agricultural products for 2022. *AIC: economics, management*. 2022; 6: 17–24. DOI: 10.33305/226-17. (In Russ.)
7. Kotyrlo E. S., Nikulina Yu. N., Zaitsev A. A. Long-term trend employment decline in Russian agriculture and countersanctions policy: was there any effect? *Higher school of economics economic journal*. 2021; 4: 515–539. DOI: 10.17323/1813-8691-2021-25-4-515-539. (In Russ.)
8. Kurikov V. M., Tashlanova Yu. V. The methodology of evaluation of investment attractiveness of the region. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2019; 5-1: 99–103. (In Russ.)
9. Litvinova V. V. Investment attractiveness and investment climate of the region: a monograph. – Moscow: Financial University under the Government of the Russian Federation, 2013; 116 p. (In Russ.)
10. Litvintseva G. P., Goldobina A. A. Factors and ways of increasing the investment attractiveness of the region. *Ideas and ideals*. 2019; 4-2: 243–266. DOI: 10.17212/2075-0862-2019-11.4.2-243-266. (In Russ.)
11. Minaev P. A. The problem of division of agricultural lands from common shared property land. *Science without borders*. 2021; 6 (58): 95–101. (In Russ.)
12. Ermolova O. V., Yakovenko N. A., Kirsanov V. V. Structural transformation assessment in the russian agri-food complex. *Food policy and security*. 2022; 9.1: 49–66. DOI: 10.18334/ppib.9.1.114347. (In Russ.)
13. Rodionova I. A., Pavlov V. N., Budnikov M. Ya. Evaluating the demand for innovation among small agricultural business. *National interests: priorities and security*. 2021; 17 (2): 337–360. DOI: 10.24891/ni.17.2.337. (In Russ.)
14. Rodionova I. A., Bolokhonov M. A., Toropova V. V., Vasilyeva O. A. Assessment and directions to boost innovative activity in agriculture. *National interests: priorities and security*. 2023; 19 (4): 706–730. DOI: 10.24891/ni.19.4.706. (In Russ.)
15. Sanovich M. A., Bragina M. S. Investment attractiveness of the region: interpretation of the concept and its determining factors. *Topical issues of modern economy*. 2021; 11: 172–176. (In Russ.)
16. Sukhanova I. F., Bryzgalin T. V. Export potential of expanded food reproduction in Russia amid escalating economic sanctions and restrictions. *AIC: economics, management*. 2023; 4: 60–72. DOI: 10.33305/234-60. (In Russ.)
17. Trysyachny V. I. Public incentives for investment as a factor in food security. *Economy and Business: theory and practice*. 2022; 2 (84): 193–196. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-284-193-196. (In Russ.)
18. Ushachev I. G., Kolesnikov A. V., Kharina M. V. The main agricultural products production assessment in Russia in 2023. *AIC: economics, management*. 2023; 5: 3–11. DOI: 10.33305/235-3. (In Russ.)
19. Tsvetkov V. A., Shutkov A. A., Dudin M. N., M. N. Lyasnikov M. N. Increasing the Investment Attractiveness of the Agricultural Sector in Russia. *Finance: theory and practice*. 2018; 22 (3): 6–21. DOI: 10.26794/2587-5671-2018-22-3-6-21. (In Russ.)
20. Shaporova O. A., Kukanova N. V. Investment support of the agrarian sector of the economy: current state and development trends. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022; 3 (96): 154–160. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.154. (In Russ.)
21. Yakovenko N. A., Ivanenko I. S., Voronov A. S. Development trends in Russian agricultural food exports under sanction limitations. *International Agricultural Journal*. 2022; 6 (390): 598–602. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_598. (In Russ.)

Authors' informations:

Irina A. Rodionova, doctor of economics, associate professor, head of the department of economics of the agro-industrial complex, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia; ORCID 0000-0003-0902-4837, AuthorID 645771. *E-mail: rodionov56@yandex.ru*

Mikhail A. Bolokhonov, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics of the agro-industrial complex, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 689014. *E-mail: bolohonov@list.ru*

Olga A. Vasilyeva, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics of the agro-industrial complex, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 722104. *E-mail: olanvas20@mail.ru*

Viktoriya V. Toropova, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics of the agro-industrial complex, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russia; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 717031. *E-mail: toropova_victoria@mail.ru*

Совершенствование процесса принятия управленческих решений в сельском хозяйстве с применением систем искусственного интеллекта

Е. Н. Ялунина¹, Н. К. Прядилина², Е. А. Скворцов¹✉

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: 9089267986@mail.ru

Аннотация. Проблема качества управленческих решений является одной из наиболее острых в сельском хозяйстве. Их качество может быть повышено с использованием цифровых технологий, в том числе применения систем искусственного интеллекта (ИИ). **Цель исследования** состоит в уточнении основных этапов принятия управленческих решений с учетом применения систем ИИ. **Научная новизна** состоит в разработке структурной модели принятия управленческого решения с учетом применения систем ИИ, определении основных компонентов этого процесса. **Методами исследования** послужили анализ публикаций в сети научного цитирования WoS по тематикам «сельское хозяйство» и «искусственный интеллект», а также абстрактно-логический метод при анализе основных этапов принятия управленческого решения. **Результатами** исследования явились определение состава и содержания этапов процессуального инварианта решения с учетом применения систем искусственного интеллекта. Применение систем искусственного интеллекта позволяет диагностировать возникновение проблем в растениеводстве, животноводстве, в технических системах на ранних стадиях. Сбор и анализ данных в процессе принятия управленческого решения с применением систем ИИ включает непосредственный сбор данных с применением датчиков, камер, сканеров и т. д., их очистку и предварительный анализ, исследовательский и статистический анализ, моделирование данных и интерпретацию результатов. Применение систем ИИ позволит оперировать большими наборами данных с объектов сельскохозяйственного производства, что позволяет снизить неопределенность при принятии управленческих решений. Анализ альтернатив и выработка управленческого решения с применением систем ИИ включает прогнозирование показателей развития сельского хозяйства в заданной системе ограничений, генерацию альтернативных решений и выбор оптимальной альтернативы, принятие или игнорирование предложенных альтернатив. Системы ИИ могут использоваться для автоматизации и оптимизации процесса выполнения управленческих решений, мониторинг и контроль управленческих решений. Применение систем ИИ для автоматизации процессов принятия управленческих решений в сельском хозяйстве может помочь повысить эффективность управления.

Ключевые слова: системы искусственного интеллекта, управленческие решения, сельское хозяйство, сбор и анализ данных, выбор альтернатив, процесс принятия управленческого решения, мониторинг контроль

Для цитирования: Ялунина Е. Н., Прядилина Н. К., Скворцов Е. А. Совершенствование процесса принятия управленческих решений в сельском хозяйстве с применением систем искусственного интеллекта // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 440–449. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-440-449>.

Дата поступления статьи: 16.05.23, **дата рецензирования:** 09.06.2023, **дата принятия:** 22.06.2023.

Improving the process of making management decisions in agriculture using artificial intelligence systems

E. N. Yalunina¹, N. K. Pryadilina², E. A. Skvortsov¹✉

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: 9089267986@mail.ru

Abstract. The problem of the quality of managerial decisions is one of the most acute problems of agriculture. Their quality can be improved with the use of digital technologies, including the use of artificial intelligence (AI) systems. **The purpose** of the study is to clarify the main stages of managerial decision-making, taking into account the use of AI systems. **The scientific novelty** lies in the development of a structural model for making a managerial decision, taking into account the use of AI systems, the main components of this process are identified. **The research methods** were the analysis of publications in the WoS scientific citation network on the topics “agriculture” and “artificial intelligence”, as well as the abstract-logical method in the analysis of the main stages of making a managerial decision. **The results** of the study were the determination of the composition and content of the stages of the procedural decision invariant, taking into account the use of artificial intelligence systems. The use of artificial intelligence systems allows diagnosing the occurrence of problems in crop production, animal husbandry, and technical systems at an early stage. Data collection and analysis in the process of making a managerial decision using AI systems includes direct data collection using sensors, cameras, scanners, etc., their cleaning and preliminary analysis, exploratory and statistical analysis, data modeling and interpretation of results. The use of AI systems will make it possible to operate with large data sets from agricultural production facilities, which will reduce uncertainty in making managerial decisions. The analysis of alternatives and the development of a management decision using AI systems turns off the forecasting of agricultural development indicators in a given system of constraints, the generation of alternative solutions and the choice of the optimal alternative, the acceptance or ignoring of the proposed alternatives. AI systems can be used to automate and optimize the process of implementing management decisions, monitoring and controlling management decisions. The use of AI systems to automate management decision-making processes in agriculture can help improve management efficiency.

Keywords: artificial intelligence systems, management decisions, agriculture, data collection and analysis, choice of alternatives, management decision-making process, monitoring control

For citation: Yalunina E. N., Pryadilina N. K., Skvortsov E. A. Improving the process of making management decisions in agriculture using artificial intelligence systems. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 440–449. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-440-449>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.05.23, **date of review:** 09.06.2023, **date of acceptance:** 22.06.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Наиболее ответственной частью работы руководителей и специалистов организаций сельского хозяйства является принятие управленческих решений. Управленческие решения могут быть классифицированы по различным признакам. Так, по субъектам управления управленческие решения можно выделить государственные, принятые субъектами хозяйствования и общественные. По сфере действия могут быть решения, направленные на социальную, экономическую или политическую сферу. По масштабности решаемых задач управленческие решения можно выделить общие и частные, по объектам воздействия – внутренние и внешние. В субъектах хозяйствования по форме выражения управленческие решения могут быть устными и

письменными, а подходы к их принятию могут быть интуитивными, рациональными, основанными на суждениях и т. д. Процесс принятие управленческих решений оказывает значительное воздействие на итоги деятельности организаций сельского хозяйства, что вызывает необходимость повышения качества основных процессов их принятия. Качество управленческих решений является одним из резервов повышения эффективности управления. Повышение качественных характеристик решений особенно актуально в условиях повышения сложности сельскохозяйственного производства, роста его интенсивности. Качество управленческих решений в сельском хозяйстве может быть повышено с использованием цифровых технологий, в том числе применения систем искусственного интел-

лекта (ИИ). Управленческие решения, принятые с применением систем сферы ИИ, должны обладать специфическими характеристиками, которые отличают их от решений, принятых без применения этих систем.

Методология и методы исследования (Methods)

Процесс принятия управленческих решений в организациях сельского хозяйства имеет несколько этапов. Прежде всего происходит определение проблемы или задачи. Руководители или специалисты организаций сельского хозяйства определяют проблему или задачу, которую необходимо решить. Например, это может быть нехватка ресурсов, проблемы с производственными процессами, снижение производительности или низкая рентабельность. Для принятия правильного управленческого решения необходимо собрать и проанализировать данные, связанные с проблемой или задачей. Это может включать в себя данные о состоянии выполнения основных технологических операций, урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности животных, потреблении ресурсов и финансовых показателях. На основе анализа данных руководители или специалисты организаций сельского хозяйства выбирают оптимальные управленческие решения. Для этого могут использоваться различные методы принятия решений, такие как анализ причин и следствий, SWOT-анализ, анализ рисков и прочие. Зачастую в организациях сельского хозяйства применяют решения на основе интуиции, имеющегося производственного опыта и по аналогии с другими подобными ситуациями. После выбора оптимальных управленческих решений необходимо разработать план действий, в котором должны быть определены конкретные шаги, необходимые для реализации решения, а также ответственных за выполнение каждого шага. После разработки плана действий необходимо начать его реализацию. Это может включать в себя внесение изменений в производственные процессы, заключение договоров с поставщиками и прочие действия. После реализации плана действий необходимо мониторить его выполнение и контролировать результаты. Если результаты не соответствуют ожиданиям, необходимо проанализировать причины и принять дополнительные меры. После выполнения плана действий необходимо оценить его эффективность. Это может включать в себя анализ финансовых показателей, урожайность, производительность животных и других параметров.

Цель исследования состоит в уточнении основных этапов принятия управленческих решений с учетом применения систем искусственного интеллекта.

Основные задачи исследования состояли в следующем.

- определить состав и содержание этапов процессуального инварианта решения с учетом применения систем искусственного интеллекта;

- определить роль систем искусственного интеллекта в повышении качества принятия управленческих решений.

На первом этапе исследования выполнен анализ контента публикаций по применению систем искусственного интеллекта в отрасли. Анализ контента публикаций осуществлен по научным публикациям библиографической базы данных Web of Science за 10 последних лет. Обзор включал выявление статей с ключевыми словами «искусственный интеллект» (artificial intelligence) и «сельское хозяйство» (agriculture). На втором этапе выполнено уточнение основных этапов принятия управленческих решений с учетом применения систем ИИ. При этом использованы общенаучные приемы познания, такие как абстрактно-логический метод.

Результаты (Results)

Проблема качества управленческих решений является одной из наиболее значимых проблем для сельского хозяйства. По оценкам ученых, в отечественном сельском хозяйстве наблюдается значительное отставание показателей качества управления производством от стран с развитым сельским хозяйством (рис. 1).

В РФ наблюдается существенная (на 30 %) задержка срока посева сельскохозяйственных культур и уборки урожая (по сравнению с оптимальными сроками). Это приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур (на 18 %) в сравнении с западноевропейскими странами. В животноводстве наблюдается повышенный падеж животных (18 %), доля элитных пород скота составляет лишь 8 %. Доля элитных сортов культур существенно ниже, чем за рубежом. Это позволяет предположить наличие существенных недостатков в процессе принятия управленческих решений в отрасли. В целом процесс принятия управленческих решений в сельском хозяйстве требует тщательного анализа данных и выбора оптимальных решений на основе анализа. При этом эффективность всех этапов процесса принятия управленческих решений может быть повышена с использованием систем ИИ.

Системы искусственного интеллекта – это область информационных технологий, которая в настоящее время является ключевой для ряда отраслей, включая сельское хозяйство. В аграрном секторе экономики применение систем ИИ позволит сельхозтоваропроизводителям автоматизировать сбор и анализ больших объемов данных, автоматизировать процессы и повысить эффективность управленческих решений, принимаемых на основе этих данных. Рассмотрим различные этапы принятия управленческих решений с учетом применением систем ИИ. Можно выделить следующие этапы принятия управленческих решений (которые, впрочем, могут варьироваться):

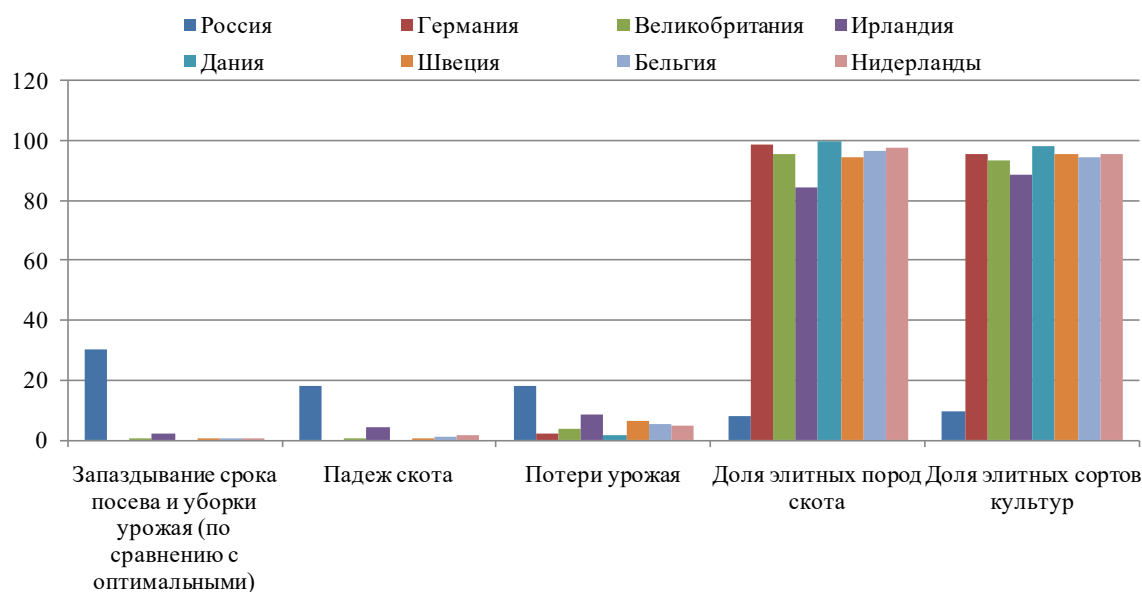


Рис. 1. Показатели качества управления производством и его организации по странам [1]

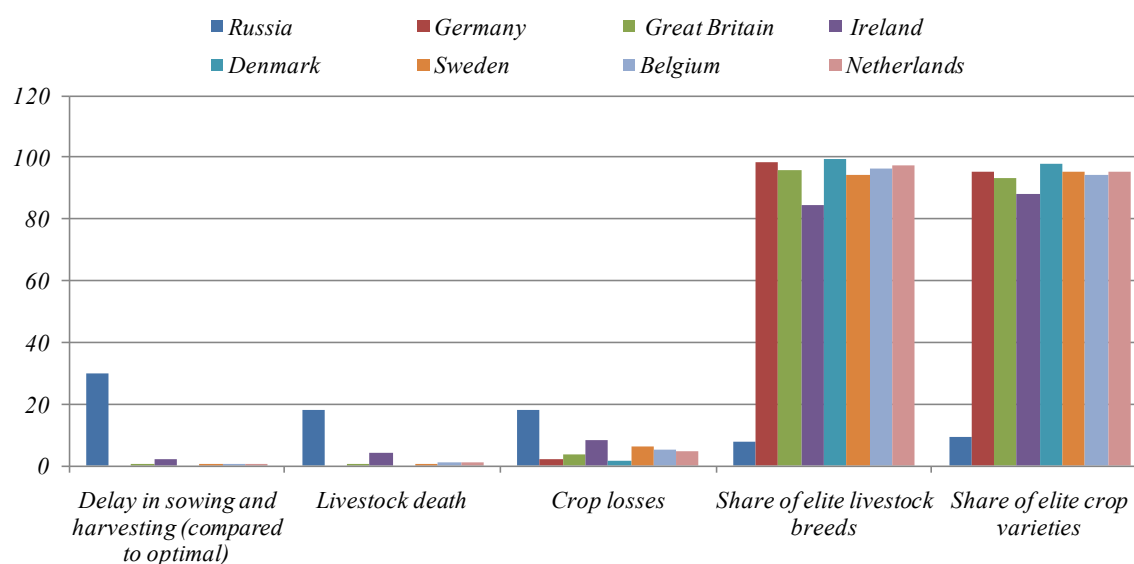


Fig. 1. Quality indicators of production management and its organization by country [1]

- диагностика проблемы;
- сбор и анализ данных;
- выработка управленческого решения;
- выполнение решения;
- мониторинг и контроль.

Рассмотрим возможности применения систем ИИ на различных этапах принятия управленческих решений в организациях сельского хозяйства.

На первом этапе процесса разработки управленческого решения осуществляется **диагностика проблемы**. Применение систем ИИ позволяет диагностировать состояния использования различных видов ресурсов и выполнения процессов с эффективностью не ниже человека. Так, разработаны системы искусственного интеллекта, позволяющие выполнить диагностику состояния почвы, в том числе температуры, на разных глубинах [2],

влажность [3], интенсивность ветровой и водной эрозии. Системы искусственного интеллекта позволяют на ранних стадиях выявить и диагностировать заболевания сельскохозяйственных культур, в том числе пшеницы, риса и многих других [4; 5]. Использование этих систем позволяет выявить распространение насекомых-вредителей на ранних стадиях развития до их массового распространения [6; 7]. В основном для выявления болезней растений и насекомых-вредителей используются камеры с высоким разрешением и соответствующие алгоритмы для обработки изображений, что позволяет их диагностировать до наступления видимых человеком признаков и, следовательно, своевременно принять решения о применении средств защиты растений. Системы искусственного интеллекта в животноводстве позволяют по двигательной актив-

ности и другим признакам выявить заболевания животных на ранних стадиях [8], а также прогнозировать их продуктивность [9]. Отечественными учеными использована нейро-нечеткая сеть для прогнозирования остаточного ресурса двигателей [10]. Использование этой сети позволяет принять управленческих решений о превентивном техническом обслуживании двигателей, выработать стратегию технической эксплуатации техники и пр. Во многих случаях системы ИИ позволяют диагностировать наступление проблемы с высокой точностью. Так, системы ИИ по диагностированию заболеваний сельскохозяйственных культур показывают точность свыше 92 % [11], что превосходит наилучшие показатели специалистов-людей. Таким образом, применение систем искусственного интеллекта позволяет диагностировать возникновение проблем в растениеводстве, животноводстве, в технических системах на ранних стадиях до их выявления специалистами сельского хозяйства.

Этапы разработки управленческого решения традиционным способом и с применением систем искусственного интеллекта представлены на рис. 2.

На втором этапе **происходит сбор и анализ данных** применением систем ИИ – это процесс извлечения значимой информации из данных путем обработки, интерпретации и структурирования. Это важный инструмент для принятия управленческих решений, так как дает возможность получить представление о расходовании ресурсов, выполнении процессов, четко определить проблему, что позволит найти оптимальное решение для ее преодоления. Анализ данных с применением систем ИИ включает в себя следующие этапы:

1. *Сбор данных*: данные можно собирать из различных источников, таких как базы данных, отчеты, опросы и т. д. Важно собрать достаточно данных, чтобы анализ был достоверным. В сельском хозяйстве данные могут быть получены с использованием датчиков, расположенных в помещениях с животными, в теплицах; камер и датчиков на технике (тракторах и комбайнах и пр.); датчиков, расположенных непосредственно на поверхности почвы, и т. д.

2. *Очистка данных*: данные с объектов сельскохозяйственного производства могут содержать ошибки, пропуски, дубликаты и т. д. Важно произвести очистку, чтобы убедиться, что анализ будет базироваться на корректных данных.

3. *Предварительный анализ данных*: на этом этапе производится анализ данных на наличие выбросов, пропущенных значений и т. д. Оценивается качество данных, находятся возможности для их улучшения.

4. *Исследовательский анализ данных*: на этом этапе производится поиск взаимосвязей между различными параметрами данных. Данные визуализи-

руются в виде графиков и диаграмм, чтобы было легче найти возможности для улучшения.

5. *Статистический анализ данных* для оценки значимости результатов. Применяются различные методы, такие как корреляционный анализ, регрессионный анализ, анализ дисперсии и т. д.

6. *Моделирование данных*: на этом этапе производится создание математических моделей, которые могут использоваться для прогнозирования будущих результатов.

7. *Интерпретация результатов*, чтобы принять решения на основе полученной информации.

Применение систем ИИ позволит оперировать большими наборами данных, собранных с объектов сельскохозяйственного производства, что дает возможность снизить неопределенность при принятии управленческих решений. Это позволит руководителям и специалистам аграрного сектора экономики принимать решения на основе точной информации.

На третьем этапе происходит **анализ альтернатив и выработка управленческого решения**. Традиционно выработка альтернатив осуществляется с использованием метода дерева решений, «мозгового штурма», функционально-стоимостного анализа и других. Однако в организациях сельского хозяйства руководители и специалисты могут принимать управленческие решения на основе предыдущего опыта и интуитивных представлений без анализа ситуации. Это может приводить к низкому качеству управленческих решений и снижению эффективности сельскохозяйственного производства. При выработке альтернативных вариантов управленческого решения целесообразно применять системы ИИ, в том числе экспертные системы.

Анализ альтернатив и выработка управленческого решения с применением систем ИИ могут включать несколько этапов:

1. *Прогнозирование показателей развития сельского хозяйства в заданной системе ограничений*. На основе собранных данных системы ИИ создают модель, которая может учитывать множество различных параметров и позволяет выполнить прогнозирование показателей развития сельского хозяйства. Результаты прогнозирования могут быть представлены в виде графиков, таблиц и диаграмм, чтобы облегчить выработку управленческого решения. Прогнозирование может быть использовано для решения различных задач в сельском хозяйстве, таких как прогноз урожайности, прогноз продуктивности животных, прогноз рыночных цен на сельскохозяйственную продукцию и т. д. Прогнозирование урожайности позволяет организациям сельского хозяйства планировать площади посевов сельскохозяйственных культур, выполнять закупку необходимого оборудования и прогнозировать уровень прибыли. Для прогнозирования урожайности могут быть использованы данные о предыдущих урожаях,

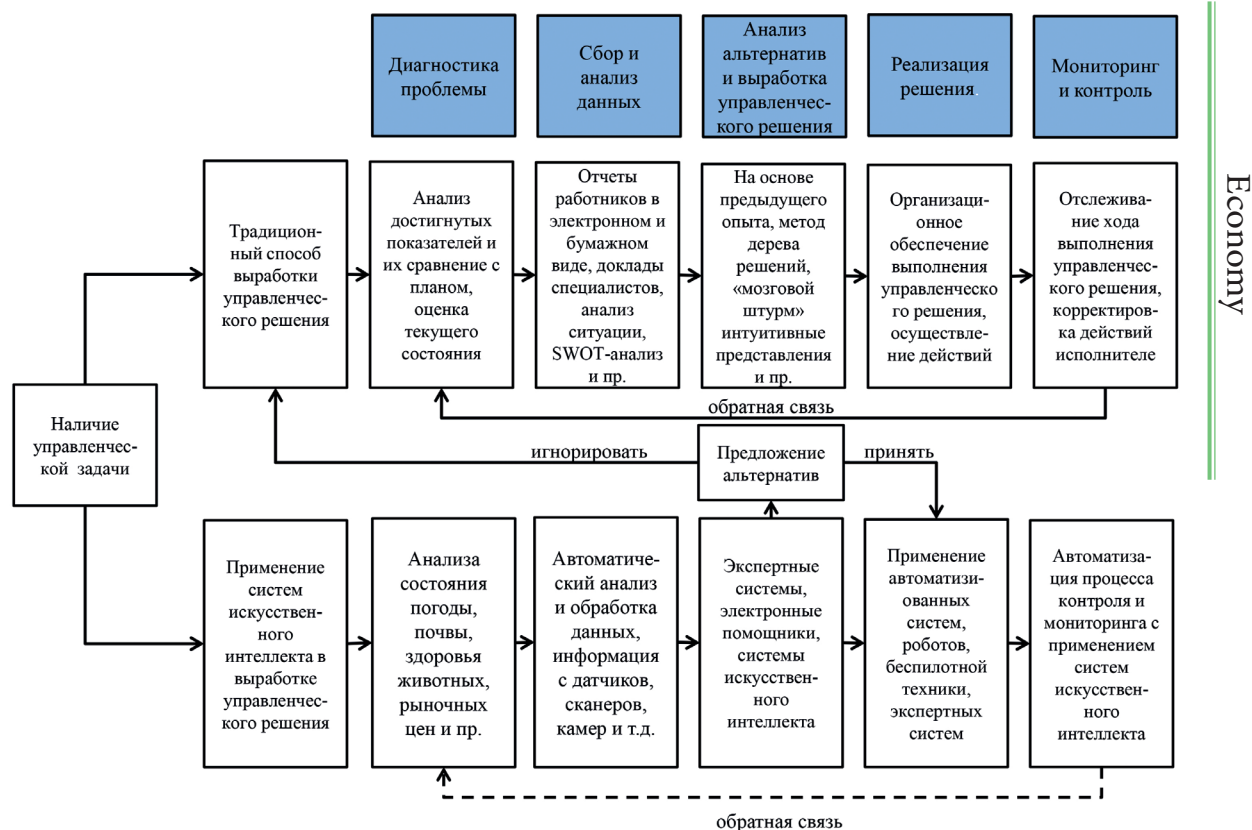


Рис. 2. Этапы разработки управленческого решения традиционным способом и с применением систем искусственного интеллекта

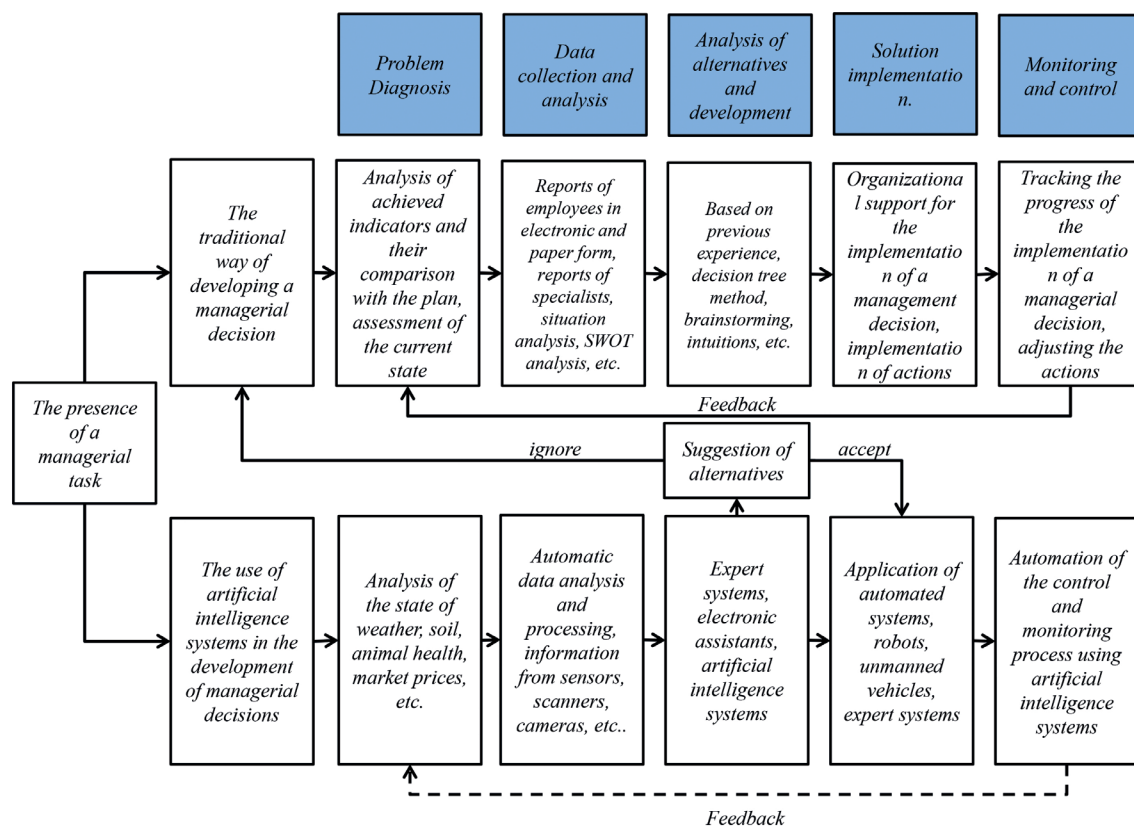


Fig. 2. Stages of developing a management solution in the traditional way and using artificial intelligence systems

климатические данные, данные о состоянии почвы и т. д. В качестве ограничений могут быть обеспеченность средствами защиты растений, удобрениями, водными ресурсами и пр. Прогноз рыночных цен на сельскохозяйственную продукцию позволяет сельхозтоваропроизводителям принять решения о времени реализации урожая и по оптимальным ценам. В качестве ограничений могут быть использованы наличие мощностей для хранения продукции, наличие техники для транспортировки и другие. Для прогнозирования цен можно использовать данные о предыдущих ценах на продукцию, данные о предложении и спросе на рынке. Системы ИИ позволяют прогнозировать показатели развития сельского хозяйства с высокой точностью. Так, одна из моделей на основе искусственных нейронных сетей прогнозирует урожайность зерновых культур с высокой точностью [12].

2. *Генерация альтернативных решений и выбор оптимального.* Системы ИИ могут использоваться для генерации большого количества альтернативных решений, учитывая данные и параметры моделей прогнозирования. Оценка альтернатив может осуществляться системами ИИ путем анализа каждой альтернативы на основе определенных критериев, как это делается при ручном анализе. При этом системы ИИ могут учитывать не только количественные показатели, но и качественные параметры, такие как качество продукции, экологические последствия и т. д. На основе результатов анализа системы ИИ могут рекомендовать наилучшую альтернативу, учитывая все ограничения и параметры, заданные пользователем (руководителем или специалистом организации). Использование систем ИИ в выборе альтернатив дает возможность с высокой скоростью обрабатывать большие объемы данных, выполнять точный анализ ситуации и учитывать значительное количество факторов. Это позволяет принимать более обоснованные решения и повысить эффективность управления организацией.

3. *Принятие или игнорирование предложенных альтернатив.* Важным аспектом является использование руководителями и специалистами организаций сельского хозяйства наилучшей альтернативы, предложенной системами ИИ. При этом лишь руководитель или специалист субъекта хозяйствования аграрного сектора экономики может принять альтернативу или игнорировать (отвергнуть) ее. Если принимается предложенная системой ИИ (экспертными системами) альтернатива, осуществляются дальнейшие действия по ее выполнению. Если предложенный системами искусственного интеллекта вариант действия игнорируется, происходит принятие управленческого решения традиционным способом (без систем ИИ).

Системы ИИ могут использоваться для автоматизации и оптимизации процесса **выполнения**

управленческих решений, в том числе управления ресурсами и процессами. Применение автоматизированных систем, роботов в животноводстве позволяет существенно повысить производительность труда, выход валовой продукции, ее качество [13]. В настоящее время разработана беспилотная техника для сельского хозяйства, в частности, комбайны для уборки зерновых культур. Их применение позволяет существенно снизить расход топлива за счет оптимального распределения мощности в зависимости от урожайности, рельефа и других параметров.

Управление ресурсами является важным аспектом в сельском хозяйстве, так как это может оказать влияние на эффективность сельскохозяйственного производства. Системы ИИ могут быть использованы в оптимизации управления ресурсами, в том числе водными ресурсами, удобрениями, средствами защиты растений и другими. Например, системы ИИ могут использоваться для определения оптимального объема воды, необходимого для полива сельскохозяйственных культур, в том числе для определения оптимального времени полива. Такие системы могут использовать данные о погодных условиях, влажности почвы и типе культурных растений для определения оптимального расхода воды [14; 15]. Также системы ИИ могут применяться для оптимизации процесса внесения удобрений. Например, эти системы могут использовать данные о составе почвы, состоянии культурных растений и погодных условиях для определения необходимого количества удобрений и оптимального времени их применения [16]. В целом использование систем ИИ для управления ресурсами в сельском хозяйстве позволит оптимизировать использование ресурсов и повысить эффективность управления.

Оптимизация процессов в субъектах хозяйствования аграрного сектора экономики имеет большое значение для повышения эффективности управления. Системы ИИ могут быть использованы для оптимизации различных процессов, таких как производство, логистика и распределение ресурсов. В сельскохозяйственном производстве системы искусственного интеллекта могут применяться в определении таких оптимальных условий выращивания культурных растений и животных, как температура, влажность и уровень освещения. Это позволит повысить урожайность культур, продуктивность животных и качество продукции. В логистике системы ИИ могут использоваться для оптимизации логистических процессов, таких как доставка продукции на рынки и в места складирования продукции. Например, эти системы могут использовать данные о маршрутах, транспорте и погодных условиях для определения оптимальных маршрутов и сроков доставки. В распределении ресурсов системы искусственного интеллекта мо-

гут использоваться для оптимизации распределения ресурсов, таких как вода, удобрения, средства защиты растений и другие. Например, они могут использовать данные о погодных условиях, типе почвы, типе культурных растений для определения оптимального расхода ресурсов и оптимального времени их использования. В целом использование систем ИИ для оптимизации процессов в сельском хозяйстве может помочь фермерам в увеличении эффективности производства, снижении затрат и повышении эффективности производства.

На четвертом этапе **мониторинга и контроля** управленческих решений позволяют оценить эффективность этих решений и предпринять необходимые действия для их корректировки (механизм обратной связи). Для мониторинга и контроля нужны конкретные показатели и критерии, которые будут использованы для оценки реализации управленческих решений. Для удобства мониторинга в последнее время используют цифровые технологии, программное обеспечение. Системы искусственного интеллекта могут использоваться для автоматизации процесса мониторинга выполнения управленческих решений. Для этого могут быть использованы инструменты и методы, которые были задействованы для диагностики проблемы и сбора информации. К ним можно отнести системы автоматического анализа и обработки данных, информацию с датчиков, сканеров, камер и т. д. Системы искусственного интеллекта могут использоваться

для мониторинга работников на фермах, чтобы обеспечить безопасность и эффективность производства. Например, система ИИ может использоваться для определения оптимальных графиков работы и обнаружения возможных нарушений безопасности. Важно отметить, что механизм обратной связи для корректировки действий систем ИИ в процессе мониторинга и контроля может отсутствовать (пунктирной линией), поскольку существует значительное количество этих систем без обратной связи.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Применение систем ИИ для автоматизации процессов принятия управленческих решений в сельском хозяйстве может помочь повысить эффективность управления. Однако важно учитывать, что разработка и внедрение систем искусственного интеллекта может быть дорогостоящей и требует высокой квалификации специалистов. Применение систем ИИ в процессе принятия управленческих решений позволит руководителям и специалистам субъектов хозяйствования аграрного сектора экономики разрабатывать более точные и эффективные стратегии, основанные на анализе большого количества данных (больших данных). В целом использование прогнозирования на основе данных с применением систем искусственного интеллекта может значительно улучшить процесс принятия управленческих решений в сельском хозяйстве и повысить обоснованность решений.

Библиографический список

1. Мезоэкономика России: стратегия разбега: монография / Под ред. чл.-корр. РАН Г. Б. Клейнера. Москва: Издательский дом «Научная библиотека», 2022. 808 с.
2. Moazen-zadeh R., Mohammadi B. Assessment of bio-inspired metaheuristic optimisation algorithms for estimating soil temperature // *Geoderma*. 2019. Vol. 353. Pp. 152–171. DOI: 10.1016/j.geoderma. 2019. 06.028.
3. Raei B., Ahmadi A., Neyshaburi M.R., Ghorbani M.A., Asadzadeh F. Comparative evaluation of the whale optimization algorithm and backpropagation for training neural networks to model soil wind erodibility // *Arabian journal of geosciences*. 2021. Vol. 14, № 1. Article number 29. DOI: 10.1007/s12517-020-06328-0.
4. Череватова Т. Ф., Ермолаева О. С. Искусственный интеллект: диагностика болезней растений по распознаванию изображений // *Экономика и предпринимательство*. 2021. № 2 (127). С. 980–985.
5. Babaei M., Maroufpoor S., Jalali M., Zarei M., Elbeltagi A. AI Approach to Rice Yield Estimation // *Irrigation and drainage*. 2021. Vol. 70, № 4. Pp. 732–742. DOI: 10.1002/ird.2566.
6. Kasinathan T., Dakshayani S., Srinivasulu R. U. Insect classification and detection in field crops using modern machine learning techniques // *Information Processing in Agriculture*. 2021. Vol. 8, № 3. Pp. 446–457. DOI: 10.1016/j.inpa.2020.09.006.
7. Thenmozhi K., Srinivasulu U. Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 164. Article number 104906. DOI: 10.1016/j.compag.2019.104906.
8. Bakoev S., Getmantseva L., Kolosova M., Kostyunina O., Chartier D. R., Tatarinova T. V. PigLeg: prediction of swine phenotype using machine learning // *PEERJ* 2020. Vol. 8. Article number 8764. DOI: 10.7717/peerj.8764.
9. Fuentes S., Viejo C. G., Cullen B., Tongson E., Chauhan S. S. Dunshea F. R. Artificial Intelligence Applied to a Robotic Dairy Farm to Model Milk Productivity and Quality based on Cow Data and Daily Environmental Parameters // *Sensors*. 2020. Vol. 20, № 10. Article number 2975. DOI: 10.3390/s20102975.
10. Побединский В. В., Иовлев Г. А., Ляхов С. В., Голдина И. И. Нейро-нечеткая сеть для оценки остаточного ресурса тракторных двигателей // *Лесной вестник*. 2022. Vol. 26. №2. С. 120–130.

11. Ahmad J., Jan B., Farman H., Ahmad W., Ullah A. Disease Detection in Plum Using Convolutional Neural Network under True Field Conditions // *Sensor*. 2020. Vol. 20. Article number 5569. DOI: 10.3390/s20195569.
12. Rogachev A. F., Melikhova E. V. Justification of algorithms and tools for neural network forecasting of agricultural productivity using retrospective data // *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2020. № 1. Pp. 290–302.
13. Melnikov Y. B., Skvortsov E., Ziablitskaia N., Kurdyumov A. Modeling of Territorial and Managerial Aspects of Robotization of Agriculture in Russia // *Mathematics*. 2022. Vol. 10. Article number 2540. DOI: 10.3390/math10142540.
14. Sumarudin A., Ismantohadi E., Puspaningrum A., Maulana S., Nadi M. Implementation irrigation system using Support Vector Machine for precision agriculture based on IoT // 5TH Annual applied science and engineering conference (AASEC 2020). IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1098. Article number 032098. DOI: 10.1088/1757-899X/1098/3/032098.
15. Abba S. I., Pham Q. B., Saini G. Implementation of intelligent data models combined with ensemble machine learning for water quality index prediction. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Pp. 41524–41539 DOI: 10.1007/s11356-020-09689-x.
16. Shadrin D., Menshchikov A., Somov A. Bornemann G., Hauslage J., Fedorov M. Enabling Precision Agriculture through Embedded Sensing with Artificial Intelligence // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*

Об авторах:

Екатерина Николаевна Ялунина, доктор экономических наук, профессор кафедры конкурентного права и антимонопольного регулирования, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2034-1576, AuthorID 765838. *E-mail: yalunina.1979@mail.ru*

Наталья Константиновна Прядилина, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики лесного бизнеса, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8136-3660, AuthorID 399834. *E-mail: pryadilinank@m.usfeu.ru*

Егор Артемович Скворцов, кандидат экономических наук, доцент кафедры конкурентного права и антимонопольного регулирования, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2034-951X, AuthorID 674749. *E-mail: +79089267986@mail.ru*

References

1. Meso-economics of Russia: takeoff strategy: monograph / Edited by corresponding member of RAS G. B. Kleyner. Moscow: Publishing house “Scientific Library”, 2022. 808 p. (In Russ.)
2. Moazen-zadeh R., Mohammadi B. Assessment of bio-inspired metaheuristic optimisation algorithms for estimating soil temperature. *Geoderma*. 2019; 353: 152–171. DOI: 10.1016/j.geoderma. 2019. 06.028.
3. Raei B., Ahmadi A., Neyshaburi M. R., Ghorbani M. A., Asadzadeh F. Comparative evaluation of the whale optimization algorithm and backpropagation for training neural networks to model soil wind erodibility. *Arabian journal of geosciences*. 2021; 14 (1): 29. DOI: 10.1007/s12517-020-06328-0.
4. Cherevatova T. F., Ermolaeva O. S. Artificial intelligence: diagnostics of plant diseases by image recognition. *Economy and entrepreneurship*. 2021; 2 (127): 980–985. (In Russ.)
5. Babaee M., Maroufpoor S., Jalali M., Zarei M., Elbeltagi A. AI Approach to Rice Yield Estimation. *Irrigation and drainage*. 2021; 70 (4): 732–742. DOI: 10.1002/ird.2566.
6. Kasinathan T., Dakshayani S., Srinivasulu R. U. Insect classification and detection in field crops using modern machine learning techniques. *Information Processing in Agriculture*. 2021; 8 (3): 446–457. DOI: 10.1016/j.inpa.2020.09.006.
7. Thenmozhi K., Srinivasulu U. Crop pest classification based on deep convolutional neural network and transfer learning. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019; 164: 104906. DOI: 10.1016/j.compag.2019.104906.
8. Bakoev S., Getmantseva L., Kolosova M., Kostyunina O., Chartier D. R., Tatarinova T. V. PigLeg: prediction of swine phenotype using machine learning. *PeerJ*. 2020; 8: 8764. DOI: 10.7717/peerj.8764.
9. Fuentes S., Viejo C. G., Cullen B., Tongson E., Chauhan S. S. Dunshea F. R. Artificial Intelligence Applied to a Robotic Dairy Farm to Model Milk Productivity and Quality based on Cow Data and Daily Environmental Parameters. *Sensors*. 2020; 20 (10): 2975. DOI: 10.3390/s20102975.
10. Pobedinskiy V. V., Iovlev G. A., Lyakhov S. V., Goldina I. I. Neuro-fuzzy network for evaluating tractor engines residual life. *Forestry Bulletin*. 2022; 26 (2): 120–130. (In Russ.)
11. Ahmad J., Jan B., Farman H., Ahmad W., Ullah A. Disease Detection in Plum Using Convolutional Neural Network under True Field Conditions. *Sensor*. 2020; 20: 5569. DOI: 10.3390/s20195569.

12. Rogachev A. F., Melikhova E. V. Justification of algorithms and tools for neural network forecasting of agricultural productivity using retrospective data. *Izvestiya NV AUK*. 2020; 1: 290–302.
13. Melnikov Y. B., Skvortsov E., Ziablitskaia N., Kurdyumov A. Modeling of Territorial and Managerial Aspects of Robotization of Agriculture in Russia. *Mathematics*. 2022; 10: 2540. DOI: 10.3390/math10142540.
14. Sumarudin A., Ismantohadi E., Puspaningrum A., Maulana S., Nadi M. Implementation irrigation system using Support Vector Machine for precision agriculture based on IoT. 5TH Annual applied science and engineering conference (AASEC 2020). *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 2021; 1098: 032098. DOI: 10.1088/1757-899X/1098/3/032098.
15. Abba S. I., Pham Q. B., Saini G. Implementation of intelligent data models combined with ensemble machine learning for water quality index prediction. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020; 27: 41524–41539 DOI: 10.1007/s11356-020-09689-x.
16. Shadrin D., Menshchikov A., Somov A. Bornemann G., Hauslage J., Fedorov M. Enabling Precision Agriculture through Embedded Sensing with Artificial Intelligence. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2019; 10: 99-105. DOI: 10.1109/TIM.2019.2947125.

Authors' information:

Ekaterina N. Yalunina, doctor of economic sciences, professor of the department of competition law and anti-monopoly regulation, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2034-1576, AuthorID 765838. *E-mail: yalunina.1979@mail.ru*

Natalya K. Pryadilina, candidate of economic sciences, associate professor of the department of forestry business economics, Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8136-3660, AuthorID 399834. *E-mail: pryadilinank@m.usfeu.ru*

Egor A. Skvortsov, candidate of economic sciences, associate professor of the department of competition law and antimonopoly regulation, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2034-951X, AuthorID 674749. *E-mail: +79089267986@mail.ru*

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

А. В. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

A. V. Ruchkin – candidate of sociological 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: 10.03.2024 г. Усл. печ. л. 17,8. Авт. л. 14,9.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

Нас индексируют / Indexed



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

