



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 24, № 10
Vol. 24, No. 10**

2024

Сведения о редакционной коллегии

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

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)
В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)
В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
О. А. Быкова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
Э. Д. Джавадов, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
Л. И. Дроздова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)
Б. С. Есенгельдин, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)
Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)
С. Б. Исмурастов, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)
В. В. Калашников, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)
А. Г. Коцаев, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)
У. Р. Матякубов, Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан)
В. С. Мымрин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)
М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншо Шотемур (Душанбе, Таджикистан)
В. С. Паштецкий, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)
Ю. В. Плугатарь, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)
М. Б. Ребезов, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, (Москва, Россия)
О. А. Рущицкая, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
А. Г. Самodelкин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)
А. А. Стекольников, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
В. Г. Тюрин, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)
И. Г. Ушачев, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)
С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-

Editorial board

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

Editorial Team

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

Содержание

Агротехнологии

- Р. А. Максимов* 1254
Изучение влияния сроков посева и норм высева на адаптивную реакцию перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18
- Т. В. Маракаева* 1266
Фенотипическая изменчивость показателей пригодности к механизированной уборке образцов чечевицы (*Lens culinaris* L.)
- Л. Ю. Острошенко, А. И. Ларьков* 1277
Типы лиственных лесов на территории Приморского края
- И. В. Сафонова, Н. И. Аниськов* 1289
Уровень качества зерна и дифференциация образцов озимой ржи по адаптивной способности в Северо-Западном федеральном округе
- Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, Л. В. Панихина* 1302
Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя

Биология и биотехнологии

- Г. А. Кодирова, Г. В. Загуменная, С. Е. Низкий* 1312
Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои
- В. А. Макутина, Р. А. Вазиров, А. С. Кривоногова, И. М. Донник, А. Г. Исаева, М. В. Петропавловский* 1322
Биологические эффекты воздействия ионизирующего и неионизирующего излучения на развитие доимплантационных эмбрионов крупного рогатого скота
- И. Ю. Потороко, А. В. Малинин, А. Я. Кади, В. Анжум, О. П. Неворова* 1334
Стратегические ориентиры обеспечения биобезопасности зерновых в экстремальных условиях изменения климата
- Н. В. Ряго, О. В. Панфилова* 1345
Регенерационная способность генотипов подрода *Ribesia* Berl. в культуре *in vitro*

Экономика

- А. В. Мусьял, Д. И. Жилияков, С. О. Виткалова, О. В. Петрушина* 1359
Взаимосвязь финансовой устойчивости и эффективности деятельности на предприятиях свиноводческой отрасли
- Д. Ю. Самыгин, М. А. Холодова, С. В. Келейникова* 1371
Стратегические параметры воспроизводства в агропродовольственном секторе региона
- А. Н. Семин, О. А. Рущицкая, А. В. Курдюмов, А. С. Гусев* 1383
Устойчивость развития организаций сельского хозяйства в условиях жестких внешнеэкономических ограничений (санкций)

Contents

Agrotechnologies

- R. A. Maksimov* 1254
Study of the influence of sowing dates and seeding rates on the adaptive response of promising barley breeding number 3856n-6-18
- T. V. Marakaeva* 1266
Phenotypic variability of lentil (*Lens culinaris* L.) accessions suitability for mechanical harvesting
- L. Yu. Ostroshenko, A. I. Larkov* 1277
Types of larch forests on the territory of Primorsky Krai
- I. V. Safonova, N. I. Aniskov* 1289
Grain quality level and differentiation of winter rye samples by adaptive capacity in the Northwestern federal district
- T. K. Sheshegova, L. M. Shchekleina, L. V. Panikhina* 1302
The influence of stem density on the phytosanitary condition and yield of new varieties of spring barley

Biology and biotechnologies

- G. A. Kodirova, G. V. Zagumennaya, S. E. Nizkiy* 1312
Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content
- V. A. Makutina, R. A. Vazirov, A. S. Krivonogova, I. M. Donnik, A. G. Isaeva, M. V. Petropavlovskiy* 1322
Biological effects of exposure to ionizing and non-ionizing radiation on the preimplantation bovine embryos development
- I. Yu. Potoroko, A. V. Malinin, A. M. Y. Kadi, V. Anjum, O. P. Neverova* 1334
Strategic guidelines for ensuring biosafety of cereals in extreme conditions of climate change
- N. V. Ryago, O. V. Panfilova* 1345
Regenerative ability of genotypes of the *Ribesia* Berl. *in vitro*

Economy

- A. V. Musyal, D. I. Zhilyakov, S. O. Vitkalova, O. V. Petrushina* 1359
The relationship of financial stability and efficiency of activities at the enterprises of the pig industry
- D. Yu. Samygin, M. A. Kholodova, S. V. Keleynikova* 1371
Strategic parameters of reproduction in the agri-food sector of the region
- A. N. Semin, O. A. Rushchitskaya, A. V. Kurdyumov, A. S. Gusev* 1383
Sustainability of operation of agricultural organizations under strong foreign economic restrictions (sanctions)

Изучение влияния сроков посева и норм высева на адаптивную реакцию перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18

Р. А. Максимов[✉]

Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Аннотация. На завершающем этапе селекционного процесса актуальной задачей является выявление адаптивной реакции перспективного селекционного материала для принятия решения об адресности государственного испытания. **Цель исследования** состояла в изучении адаптивной реакции перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18. **Методы.** Указанный номер сравнивался со стандартом Памяти Чепелева. В условиях 2023 г. средовую изменчивость количественных признаков обеспечили три срока посева и четыре нормы высева. Применялись статистические методы и математические модели: дисперсионный анализ, аддитивная математическая модель, анализ адаптивных характеристик. **Результаты.** По полученным переменным значениям были построены и статистически обоснованы аддитивные математические модели взаимосвязи биологической урожайности и ее элементов структуры, составлены точечные прогнозы биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}). Доказательством точности прогнозов выступил коэффициент k_p , который изменялся в пределах 2,6–4,1 % и показал, что результативный признак спрогнозирован достаточно точно. Далее полученные результаты были дифференцированы в прогнозы биологической урожайности (\hat{Y}_{rci}) в зависимости от эффектов переменных значений количественных признаков (X_{ri}). Результаты (\hat{Y}_{rci}) стали источником для расчета показателей адаптивной способности, средней стабильности и селекционной ценности, которые в дальнейшем показаны в динамике, по периодам роста и развития растений. Анализ прогнозов биологической урожайности показал преимущество номера 3856н-6-18 по селекционной ценности ($СЦП_{2i} = 1,70$) в период формирования озерненности колоса, что было обеспечено преобладанием как общей адаптивной способности ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), так и средней устойчивости ($Sg_{2i} = 9,4$ %). В конце вегетации (формирование, налив и созревание зерна) преимущество за перспективным номером ($СЦП_{3i} = 1,28$), связанное со средней стабильностью ($Sg_{3i} = 7,1$ %). **Научная новизна.** По перспективному номеру 3856н-6-18 в фиксированном диапазоне изменчивости урожайности (7,05–8,11 т/га) выявлена динамика изменения адаптивных характеристик в процессе роста и развития растений.

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

Для цитирования: Максимов Р. А. Изучение влияния сроков посева и норм высева на адаптивную реакцию перспективного селекционного номера ячменя 3856н-6-18 // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1254–1265. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1254-1265>.

Дата поступления статьи: 26.04.2024, **дата рецензирования:** 30.05.2024, **дата принятия:** 29.07.2024.

Study of the influence of sowing dates and seeding rates on the adaptive response of promising barley breeding number 3856n-6-18

R. A. Maksimov[✉]

Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Abstract. At the final stage of the breeding process, an urgent task is to identify the adaptive response of promising breeding material for making a decision on the targeting of state testing. **The purpose** of the study was to study the adaptive reaction of the selective breeding number of barley 3856h-6-18. **Methods.** The specified number was compared with the standard of Pamyati Chepeleva. In the conditions of 2023, the environmental variability of quantitative values was ensured by three sowing periods and four seeding rates. Statistical methods and mathematical models were used: analysis of variance, additive mathematical model, analysis of adaptive characteristics. **Results.** Based on the obtained variable values, additive mathematical models of the relationship between biological yield and its structural elements were constructed and statistically justified, and point forecasts of biological yield (\hat{Y}_{ci}) were made. The k_i coefficient proved the accuracy of the forecasts, which varied in the range of 2.6–4.1 % and shows that the effective feature is predicted quite accurately. Further, the obtained results were differentiated into forecasts of biological yield (\hat{Y}_{rci}) depending on the effects of variable values of quantitative characteristics (X_{ri}). The results became a source for calculating indicators of adaptive ability, environmental stability and breeding value, which are further shown in the dynamics, according to the periods of plant growth and development. The analysis of biological yield forecasts showed the advantage of number 3856h-6-18 in terms of breeding value ($BVT_{2i} = 1.70$) during the formation of ear lake, which was ensured by the predominance of both general adaptive capacity ($WIA_{2i} = 0.34$ т/га) and environmental stability ($Sg_{2i} = 9.4$ %). At the end of the growing season (formation, filling and maturation of grain), the advantage belongs to the promising number ($BVT_{3i} = 1.28$), associated with environmental stability – $Sg_{3i} = 7.1$ %. **Scientific novelty.** According to the prospective number 3856n-6-18 in a fixed range of yield variability (7.05–8.11 t/ha) revealed the dynamics of changes in adaptive characteristics in the process of plant growth and development.

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

For citation: Maksimov R. A. Study of the influence of sowing dates and seeding rates on the adaptive response of promising barley breeding number 3856n-6-18. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1254–1265. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1254-1265>. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.04.2024, **date of review:** 30.05.2024, **date of acceptance:** 29.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях глобального изменения климата, нестабильных цен на продукцию сельскохозяйственного производства и удорожания ресурсов отмечается снижение темпов устойчивого роста урожайности новых сортов различных сельскохозяйственных культур, созданных при применении традиционных подходов селекции [1]. В качестве альтернативы классической селекции в некоторых странах становится популярным трансгенез, однако внедрение чужеродных генов в организм того или иного вида – вопрос недостаточно изученный и может представлять угрозу устойчивости биосферы и наследственности живых организмов [2; 3]. В последние годы быстрыми темпами развивается гетерозисная селекция перекрестноопыляемых культур, но по самоопылителям пока отсутствуют ощутимые результаты [4; 5]. Вместе с этим, по данным

мировой и отечественной науки, есть значительные сдвиги в таких аспектах фундаментальной селекции и генетики, как методология фенотипирования, статистическая оценка результатов и отбор посредством молекулярного маркирования [6; 7]. По перечисленным направлениям в нашем учреждении продолжают проводиться поисковые эксперименты [8–10]. Одним из результатов исследований является разработанная методика дифференциации точечного прогноза биологической урожайности посредством аддитивной математической модели преобразования исходных данных. При применении указанной методики открыты различные экотипы ячменя по адаптивной реакции в процессе роста и развития растений [11; 12].

Вместе с высоким потенциалом урожайности сорта сельскохозяйственных культур должны сочетать в себе высокую общую адаптивную способ-

ность для возможности коммерциализации на обширной территории. При этом основная ценность сортов множества сельскохозяйственных культур определяется способностью формировать максимальный урожай продукции, которая во многих исследованиях является маркерным признаком для расчета адаптивных характеристик. Адаптивность – широкое понятие, сочетающее в себе экологическую пластичность и средовую устойчивость (стабильность). Пластичность сорта – это его способность приспосабливаться к различным экологическим условиям среды обитания и возможности максимальной реализации урожайности при формировании стабильно высокого качества продукции и сохранении технологических свойств. Средовая устойчивость (стабильность) сорта – это способность противостоять неблагоприятным факторам среды с наименьшими потерями урожайности, качества продукции и с сохранением технологических свойств [13].

Селекционный процесс по зерновым культурам занимает продолжительное время (10–12 лет). На заключительном этапе селекции (конкурсное сортоиспытание) в течение 2–3 лет тот или иной номер признается перспективным и начинается его агротехническая проработка. При этом наиболее информативным селекционным признаком выступает урожайность зерна. По этому признаку зачастую в перспективе получают информацию об адаптивности генотипа. Однако в системе взаимодействия генотип × среда еще требуется минимум 5–8 лет для получения искомых результатов, поскольку для статистического анализа необходим приемлемый набор вариантов опыта [14].

Еще один вопрос адаптивной селекции заключается в том, что базовый показатель (урожайность зерна) сам по себе является интегральным и формируется в результате варьирования количественных признаков (количество продуктивных стеблей, число зерен в колосе, масса 1000 зерен). Часто тот или иной лимитирующий фактор действует на урожайность в короткий промежуток времени, поэтому некоторые экспериментаторы в решении этой проблемы в качестве анализируемого признака используют количественные (средовые) изменения того или иного элемента структуры урожайности при учете его высокой линейной сопряженности с конечным результатом (урожайностью). В случае же низкой и средней линейной корреляции результирующего признака и результата воздействия того или иного лимитирующего фактора на урожайность выявить в данной математической модели весьма затруднительно. В этой связи проблема дезинтеграции биологической урожайности была решена в 2021 году, здесь посредством использования аддитивной математической модели предложен новый (расчетный) показатель (\bar{Y}_{rci}). Однако для этого потребова-

лось 10 различных сред, поскольку опыты проводились с 2011 по 2021 год [12].

В вопросе увеличения количества сред для проведения статистического анализа адаптивных свойств генотипов ячменя мы предлагаем в рамках одного года исследования создать условия варьирования количественных признаков путем применения различных агротехнических приемов (сроки посева и нормы высева).

Цель исследования – при применении различных агротехнических фонов выявить средовую реакцию перспективного номера ячменя 3856н-6-18 для получения информации о его адаптивных свойствах в сравнении со стандартом Памяти Чепелева в различные периоды роста и развития растений.

Методология и методы исследования (Methods)

В агроклиматических условиях Юго-Запада Свердловской области (1 км на север от г. Красноуфимска) в 2023 году заложены опыты по трем факторам: генотипы (фактор А), сроки посева (фактор Б) и нормы высева (фактор В). Использовался селекционный севооборот (поле № 3), площадь экспериментальной делянки – 10 м². Биометрия – путем отбора снопов с фиксированной площади 1 м². По фактору А тестировали перспективный номер 3856н-6-18 в сравнении со стандартом Памяти Чепелева, который, по данным 2023 года (ФГБУ «Россельхозцентр»), является лидером в РФ по объему высеваемых семян: 76,5 тыс. тонн [15]. Используемые генотипы имеют двухрядный колос и относятся к таксономической группе *Hordeum vulgare L. subsp. distichon (L.) Koern. var. nutans Schubl.* По фактору Б исследовали три срока посева: 24 апреля, 3 и 12 мая. По фактору В применяли четыре нормы высева: 3, 4, 5 и 6 млн всхожих семян на 1 га.

Для определения долевого вклада факторов в изменчивость признаков использовали двухфакторный дисперсионный анализ, расчет аддитивной математической модели взаимосвязи биологической урожайности с ее элементами структуры проводили в программе Microsoft Excel [16]. Проверку распределения на нормальность осуществляли с использованием критерия p-value, рассчитанного в рамках двухфакторного дисперсионного анализа в программе Excel. Исходные данные приведены в таблице 1.

Исходные данные были использованы для расчетов взаимосвязи биологической урожайности и количественных признаков, по формуле:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3, \quad (1)$$

где Y – биологическая урожайность;

X_1 , X_2 и X_3 – переменные количественных признаков;

b_1 , b_2 и b_3 – коэффициенты частной регрессии;

a – общее начало отсчета, или свободный член, который находится по формуле:

$$a = Y - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - b_3 \bar{X}_3. \quad (2)$$

Точечный прогноз биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) по каждому средовому фону определяли путем постановки в уравнение множественной переменных значений (X_{rci}). Проверку прогноза осуществляли на основании расчетов коэффициента k_i , который рассчитывался по формуле:

$$k_i = \frac{\sigma_i}{\bar{Y}_i} 100, \quad (3)$$

где

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (Y_{ri} - \hat{Y}_{ri})^2}{n-l-1}}, \quad (4)$$

здесь Y_{ci} – значения исходной биологической урожайности в c -й среде (см. таблицу 1);

\hat{Y}_{ci} – точечный прогноз биологической урожайности в c -й среде;

n – количество агротехнических фоновых сред;

l – число переменных (факторных) признаков (3).

В составлении адекватных прогнозов коэффициент $k_i \leq 15$.

Величина (\hat{Y}_{rci}) характеризует долевым вклад r -го признака в точечный прогноз урожайности, с учетом постоянных значений регрессоров (b_{ri}) уравнения (1) и находится по формуле:

$$\hat{Y}_{rci} = \hat{Y}_{ci} \frac{b_{ri} X_{rci}}{\sum b_{ri} X_{rci}}, \quad (5)$$

где $r = 1 \dots 3$; $i = 1, \dots m$;

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

\hat{Y}_{ci} – точечный прогноз урожайности в c -й среде;

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

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

r – номер количественной переменной из уравнения регрессии (см. формулу 1);

m – количество генотипов в опыте [12].

Таблица 1

Биометрические значения количественных признаков и урожайности исследуемых генотипов ячменя, 2023 г.

Показатель	1-й срок посева				2-й срок посева				3-й срок посева				Среднее
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	
Памяти Чепелева													
Число продуктивных стеблей шт/м ²	690	708	787	806	638	714	772	727	670	707	707	785	726
Число зерен в колосе, шт.	22,1	19,3	18,4	18,6	21,9	18,3	18,5	22,5	22,0	22,4	23,3	21,0	20,7
Масса 1000 зерен, г	46,5	45,3	42,8	41,2	44,1	48,1	43,8	37,9	48,5	47,0	45,0	44,3	44,5
Урожайность, т/га	7,11	6,18	6,20	6,18	6,16	6,29	6,27	6,20	7,15	7,44	7,41	7,30	6,66
3856н-6-18													
Число продуктивных стеблей шт/м ²	716	688	803	808	665	734	752	916	595	609	753	838	740
Число зерен в колосе, шт.	22,2	22,7	20,8	21,5	22,7	22,8	23,5	19,0	26,5	24,1	22,8	21,3	22,5
Масса 1000 зерен, г	45,5	45,6	42,2	44,0	47,8	43,9	44,5	44,1	50,4	51,4	46,1	45,4	45,9
Урожайность, т/га	7,24	7,12	7,05	7,64	7,21	7,34	7,86	7,67	7,95	7,55	7,92	8,11	7,55

Примечание. * Норма высева в млн всхожих семян на 1 га.

Table 1

Biometric values of quantitative characteristics and yields of the studied barley genotypes, 2023

Indicator	1 st sowing period				2 nd sowing period				3 rd sowing period				Average
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	
Pamyati Chepeleva													
The number of productive stems pcs/m ²	690	708	787	806	638	714	772	727	670	707	707	785	726
The number of grains in the ear, pcs.	22.1	19.3	18.4	18.6	21.9	18.3	18.5	22.5	22.0	22.4	23.3	21.0	20.7
Weight of 1000 grains, g	46.5	45.3	42.8	41.2	44.1	48.1	43.8	37.9	48.5	47.0	45.0	44.3	44.5
Yield, t/ha	7.11	6.18	6.20	6.18	6.16	6.29	6.27	6.20	7.15	7.44	7.41	7.30	6.66
3856н-6-18													
The number of productive stems pcs/m ²	716	688	803	808	665	734	752	916	595	609	753	838	740
The number of grains in the ear, pcs.	22.2	22.7	20.8	21.5	22.7	22.8	23.5	19.0	26.5	24.1	22.8	21.3	22.5
Weight of 1000 grains, g	45.5	45.6	42.2	44.0	47.8	43.9	44.5	44.1	50.4	51.4	46.1	45.4	45.9
Yield, t/ha	7.24	7.12	7.05	7.64	7.21	7.34	7.86	7.67	7.95	7.55	7.92	8.11	7.55

Note. * The seeding rate in millions germinating seeds per 1 ha.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа по исходным данным биологической урожайности и ее элементам структуры генотипов ячменя в средовых условиях, обусловленных различными сроками посева и нормами высева, 2023 г.

Агротехнологии

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средние квадраты, MS	Доля влияния фактора, %	F _{факт.}	F _{теор.}	P-value
Количество продуктивных стеблей, шт/м²							
Генотип	4 603	1	4 603,4	0,9	6,5	4,0	0,013194
Среда	390 191	11	35 471,9	69,9	49,8	1,9	3,5E-29
Генотип × среда	112 431	11	10 221,1	20,0	14,3	1,9	3,77E-14
Остаток (ошибка)	51 317	72	712,7	9,2			
Итого	558 543	95		100,0			
Количество зерен в колосе, шт.							
Генотип	77,9	1	77,9	18,8	217,2	4,0	1,97E-23
Среда	174,2	11	15,8	42,0	44,1	1,9	1,47E-27
Генотип × среда	136,8	11	12,4	33,0	34,7	1,9	2,19E-24
Остаток (ошибка)	25,8	72	0,4	6,2			
Итого	414,8	95		100,0			
Масса 1000 зерен, г							
Генотип	45,1	1	45,1	5,5	49,9	4,0	8,38E-10
Среда	552,1	11	50,2	66,7	55,6	1,9	1,07E-30
Генотип × среда	165,3	11	15,0	20,0	16,6	1,9	1,07E-15
Остаток (ошибка)	65,0	72	0,9	7,9			
Итого	827,5	95					
Биологическая урожайность, т/га							
Генотип	19,3	1	19,3	41,2	169,2	4,0	1,39E-20
Среда	14,3	11	1,3	30,5	11,4	1,9	6,47E-12
Генотип × среда	5,1	11	0,5	10,9	4,1	1,9	0,0001
Остаток (ошибка)	8,2	72	0,1	17,5			
Итого	46,9	95					

Table 2

The results of the analysis of variance based on the initial data of biological yield and its elements of the structure of barley genotypes in environmental conditions due to different sowing dates and seeding rates, 2023

Source of variation	Sum of squares, SS	The number of degrees of freedom, df	Average squares, MS	The share of the factor's influence, %	F _{fact.}	F _{theor.}	P-value
The number of productive stems pcs/m²							
Genotype	4 603	1	4 603.4	0.9	6.5	4.0	0.0132
Environment	390 191	11	35 471.9	69.9	49.8	1.9	3.5E-29
Genotype × environment	112 431	11	10221.1	20.0	14.3	1.9	3.77E-14
Remainder (error)	51 317	72	712.7	9.2			
Total	558 543	95		100.0			
The number of grains in the ear, pcs.							
Genotype	77.9	1	77.9	18.8	217.2	4.0	1.97E-23
Environment	174.2	11	15.8	42.0	44.1	1.9	1.47E-27
Genotype × environment	136.8	11	12.4	33.0	34.7	1.9	2.19E-24
Remainder (error)	25.8	72	0.4	6.2			
Total	414.8	95		100.0			
Weight of 1000 grains, g							
Genotype	45.1	1	45.1	5.5	49.9	4.0	8.38E-10
Environment	552.1	11	50.2	66.7	55.6	1.9	1.07E-30
Genotype × environment	165.3	11	15.0	20.0	16.6	1.9	1.07E-15
Remainder (error)	65.0	72	0.9	7.9			
Total	827.5	95					
Biological productivity, t/ha							
Genotype	19.3	1	19.3	41.2	169.2	4.0	1.39E-20
Environment	14.3	11	1.3	30.5	11.4	1.9	6.47E-12
Genotype × environment	5.1	11	0.5	10.9	4.1	1.9	0.0001
Remainder (error)	8.2	72	0.1	17.5			
Total	46.9	95					

Аддитивные математические модели взаимосвязи биологической урожайности генотипов ячменя с биометрическими значениями элементов ее структуры, 2023 г.

Генотип	Уравнение регрессии*	R^2	Критерий Фишера	
			$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
Памяти Чепелева	$Y = 0,0095 \times X_1 + 0,3321 \times X_2 + 0,1584 \times X_3 - 14,17$	0,99	1511,9	4,01
3856н-6-18	$Y = 0,0090 \times X_1 + 0,3242 \times X_2 + 0,1172 \times X_3 - 11,78$	0,95	47,6	

Примечание. * Y – урожайность (по различным срокам и нормам посева), X_1 , X_2 и X_3 – количественные значения структуры урожайности.

Table 3

Additive mathematical models of the relationship between the biological yield of barley genotypes and the biometric values of its structural elements, 2023

Genotype	The regression equation*	R^2	The Fisher Criterion	
			$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$
Pamyati Chepeleva	$Y = 0.0095 \times X_1 + 0.3321 \times X_2 + 0.1584 \times X_3 - 14.17$	0.99	1511.9	4.01
3856n-6-18	$Y = 0.0090 \times X_1 + 0.3242 \times X_2 + 0.1172 \times X_3 - 11.78$	0.95	47.6	

Note. * Y – yield (according to different terms and seeding rates), X_1 , X_2 and X_3 – quantitative values of the yield structure.

Результаты (Results)

В данном исследовании мы применяли различные агротехнические приемы для создания однородной среды для проявления фенотипических различий между генотипами. Здесь срок посева выступил как фактор, который определил различные агрометеорологические условия, проявившиеся с временным сдвигом вегетации растений. А норма посева – фактор влияния биоценотического взаимодействия растений по исследуемым генотипам. Таким образом, под фактором А в последующем изучении рассматриваем количественные изменения всех показателей, обусловленные генотипом, а под фактором Б – фоновой средой, обусловленной влиянием сроков посева и норм посева.

По результатам дисперсионного анализа варьирование биологической урожайности обусловлено как генотипом (доля вклада – 41,2 %), так и средой (30,5 %). Взаимодействие генотип \times среда – всего 4,1 %. Если рассматривать количественные признаки элементов структуры урожайности, то получены следующие результаты. Количество продуктивных стеблей: генотип – 0,9 %, среда – 49,8 %, генотип \times среда – 14,3 %; количество зерен в колосе – 18,8 %, 42,0 % и 33,0 % соответственно; масса 1000 зерен – 5,5 %, 66,7 % и 20,0 % соответственно. Становится очевидным тот факт, что биологическая урожайность как интегральный признак достаточно явно варьирует по фактору «генотип» (30,5 %), что нельзя отметить по другим количественным признакам (0,9–18,8 %) (таблица 2).

Очень низкий доленой вклад переменных значений количественных признаков структуры урожайности по фактору «генотип» в общую дисперсию исключает возможность исследования адаптивных характеристик по фазам роста и развития растений перспективного номера 3856н-6-18, поскольку средовая дисперсия доминирует над генотипической. Следовательно, возникает необходимость исполь-

зования альтернативной базы данных, где совокупно идет учет как количественных изменений элементов структуры биологической урожайности, так и аддитивного эффекта их взаимодействия. Для этого исходные данные, полученные экспериментальным путем, функционально связали между собой с помощью аддитивной математической модели (таблица 3).

Обоснованность применения дает возможность произвести прогноз биологической урожайности посредством уравнения множественной регрессии. Для этого по каждой среде (агротехнический фон) фактические данные количественных признаков преобразованы в точечный прогноз биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}), которые, в свою очередь, дифференцированы в искомые значения (\hat{Y}_{rci}) прогнозов по эффектам количественных признаков по Р. А. Максимуму [12]. Качество прогноза (\hat{Y}_{ci}) проверено с использованием коэффициента k_i (допустимая величина – не более 15 %). В нашем случае для стандарта Памяти Чепелева он составил 2,6 %; номер 3856н-6-18 – 4,1 %. Следовательно, вновь полученная база данных статистически обоснована для использования (таблица 4).

Полученная база данных прогнозов биологической урожайности от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) была использована для проведения дисперсионного анализа по схеме двухфакторного опыта (фактор А – генотип; фактор Б – среда). Дисперсионный анализ по математически преобразованным данным показал положительную динамику в исследовании роли фактора «генотип», так как по всем эффектам количественных признаков отмечается рост дисперсии: прогноз урожайности по эффекту числа продуктивных стеблей – с 0,9 до 13,5 %; по количеству зерен в колосе – с 18,8 до 59,6 %; по массе 1000 зерен – с 5,5 до 45,9 %. Дисперсия по фактору «среда», наоборот, имела отрицательную динамику: по числу продуктивных стеблей – с 69,9

до 55,5 %; по количеству зерен в колосе – с 42,0 до 19,4 %; по массе 1000 зерен – с 66,7 до 24,9 %. Полученные результаты при одновременном учете переменных значений количественных признаков, постоянных (расчетных) значений регрессоров и аддитивного эффекта взаимодействия количественных признаков увеличивают вариабельность по фактору «генотип», следовательно, появляются новые возможности для проведения селекционного отбора (таблица 5).

Точечный прогноз биологической урожайности от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) использовался для расчета адаптивных характеристик, которые проводились согласно методике А. В. Кильчевского и Н. В. Хотылевой (1989) [17]. В сложившихся агроклиматических условиях 2023 г. варьирование биологической урожайности по различным агротехническим фонам у стандарта

Памяти Чепелева составило 6,16–7,44 т/га, у номера 3856н-6-18 – 7,05–8,11 т/га. В этих диапазонах перспективный номер показал преимущество по реализации урожайности, причем на всех агротехнических фонах (см. таблицу 1). Данный положительный отклик был обеспечен за счет относительно более высокой общей адаптивной способности номера 3856н-6-18 в период формирования количества зерен в колосе ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), средневзвешенный (по всем агротехническим фонам) прогноз урожайности от эффекта озерненности колоса \hat{Y}_{2ci} составил 2,86 т/га, что на 0,68 т/га (31,3 %) выше, чем у стандарта Памяти Чепелева ($\hat{Y}_{2ci} = 2,18$ т/га). Здесь же преимущество по адаптивной способности сочетается с более высокой средовой устойчивостью по урожайности ($Sg_{2i} = 9,4$ %), что в совокупности определяет двукратное ($СЦП_{2i} = 1,70$) в сравнении с Памяти Чепелева ($СЦП_{2i} = 0,88$) пре-

Таблица 4
Искомые значения (\hat{Y}_{rci}) и (\hat{Y}_{ci}) генотипов ячменя (i) в различных средах (с), 2023 г.

Генотип	1-й срок посева				2-й срок посева				3-й срок посева			
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*
Прогноз биологической урожайности от эффекта числа продуктивных стеблей, т/га												
Памяти Чепелева	2,18	2,03	2,28	2,33	1,84	2,09	2,25	2,11	2,14	2,31	2,30	2,53
3856н-6-18	2,44	2,33	2,73	2,86	2,26	2,54	2,70	3,28	2,18	2,14	2,70	3,05
Прогноз биологической урожайности от эффекта числа зерен в колосе, т/га												
Памяти Чепелева	2,44	1,94	1,86	1,88	2,20	1,87	1,88	2,28	2,46	2,56	2,66	2,37
3856н-6-18	2,73	2,77	2,54	2,74	2,78	2,84	3,04	2,45	3,49	3,05	2,94	2,79
Прогноз биологической урожайности от эффекта массы 1000 зерен, т/га												
Памяти Чепелева	2,45	2,17	2,06	1,98	2,11	2,35	2,12	1,83	2,59	2,56	2,45	2,38
3856н-6-18	2,02	2,01	1,87	2,03	2,12	1,98	2,08	2,06	2,40	2,35	2,15	2,15
Точечный прогноз урожайности по сумме эффектов количественных признаков, т/га												
Памяти Чепелева	7,08	6,13	6,20	6,19	6,15	6,31	6,25	6,22	7,19	7,43	7,41	7,28
3856н-6-18	7,20	7,12	7,14	7,62	7,16	7,36	7,82	7,79	8,08	7,54	7,79	7,99

* Норма высева, млн всхожих семян на 1 га.

Table 4
The desired values (\hat{Y}_{rci}) and (\hat{Y}_{ci}) genotypes of barley (i) in various media (c), 2023

Genotype	1 st sowing period				2 nd sowing period				3 rd sowing period			
	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*	3*	4*	5*	6*
Forecast of biological yield from the effect of the number of productive stems, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.18	2.03	2.28	2.33	1.84	2.09	2.25	2.11	2.14	2.31	2.30	2.53
3856n-6-18	2.44	2.33	2.73	2.86	2.26	2.54	2.70	3.28	2.18	2.14	2.70	3.05
Forecast of biological yield from the effect of the number of grains per ear, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.44	1.94	1.86	1.88	2.20	1.87	1.88	2.28	2.46	2.56	2.66	2.37
3856n-6-18	2.73	2.77	2.54	2.74	2.78	2.84	3.04	2.45	3.49	3.05	2.94	2.79
Forecast of biological yield from the effect of the mass of 1000 grains, t/ha												
Pamyati Chepeleva	2.45	2.17	2.06	1.98	2.11	2.35	2.12	1.83	2.59	2.56	2.45	2.38
3856n-6-18	2.02	2.01	1.87	2.03	2.12	1.98	2.08	2.06	2.40	2.35	2.15	2.15
Point forecast of yield by the sum of the effects of quantitative characteristics, t/ha												
Pamyati Chepeleva	7.08	6.13	6.20	6.19	6.15	6.31	6.25	6.22	7.19	7.43	7.41	7.28
3856n-6-18	7.20	7.12	7.14	7.62	7.16	7.36	7.82	7.79	8.08	7.54	7.79	7.99

* The seeding rate in millions germinating seeds per 1 ha.

имущество перспективного сортообразца 3856н-6-18 по селекционной ценности в период зернообразования. И в период закладки продуктивного стеблестоя (фаза «всходы – кущение») новый номер отличался также относительно высокой адаптивностью ($ВПА_{li} = 0,25$ т/га), прогнозная биологическая урожайность от эффекта количества

продуктивных стеблей \hat{Y}_{ici} составила 2,62 т/га, что на 0,42 (19,1 %) т/га выше Памяти Чепелева, но по различным средовым фонам показатель сравнительно менее стабилен ($Sg_{li} = 13,5$ %), расчет селекционной ценности из-за низкой стабильности здесь выявил преимущество стандарта ($СЦП_{li} = 1,38$). На этапе формирования, налива и созревания зерна

Таблица 5

Результаты дисперсионного анализа по расчетным базам данных точечных прогнозов биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) и от эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) генотипов ячменя при различных сроках посева и норм высева, 2023 г.

Источник варьирования	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средние квадраты, MS	Доля влияния фактора, %	$F_{факт.}$	$F_{теор.}$	P -value
Эффект числа продуктивных стеблей, шт/м²							
Генотип	1,75	1	1,75	13,5	101,9	4,0	1,97E-15
Среда	7,23	11	0,66	55,5	38,2	1,9	1,18E-25
Генотип × среда	2,79	11	0,25	21,5	14,7	1,9	2,05E-14
Остаток (ошибка)	1,24	72	0,02	9,5			
Итого	13,00	95		100,0			
Эффект числа зерен в колосе, шт.							
Генотип	5,96	1	5,96	59,6	606,7	4,0	8,31E-37
Среда	1,94	11	0,18	19,4	18,0	1,9	1,59E-16
Генотип × среда	1,39	11	0,13	13,9	12,9	1,9	4,46E-13
Остаток (ошибка)	0,70	72	0,01	7,1			
Итого	10,00	95		100,0			
Эффект массы 1000 зерен, г							
Генотип	1,76	1	1,76	45,9	346,2	4,0	3,19E-29
Среда	0,95	11	0,09	24,7	17,1	1,9	5,79E-16
Генотип × среда	0,76	11	0,07	19,8	13,6	1,9	1,27E-13
Остаток (ошибка)	0,37	72	0,01	9,6			
Итого	3,83	95		100,0			

Table 5

The results of the analysis of variance based on calculated databases of point forecasts of biological yield (\hat{Y}_{ci}) and the effects of quantitative characteristics (\hat{Y}_{rci}) of barley genotypes at different sowing dates and seeding rates, 2023

Source of variation	Sum of squares, SS	The number of degrees of freedom, df	Average squares, MS	The share of the factor's influence, %	$F_{факт.}$	$F_{теор.}$	P -value
Effect of the number of productive stems, pcs/m²							
Genotype	1.75	1	1.75	13.5	101.9	4.0	1.97E-15
Environment	7.23	11	0.66	55.5	38.2	1.9	1.18E-25
Genotype × environment	2.79	11	0.25	21.5	14.7	1.9	2.05E-14
Remainder (error)	1.24	72	0.02	9.5			
Total	13.00	95		100.0			
The effect of the number of grains in an ear, pcs.							
Genotype	5.96	1	5.96	59.6	606.7	4.0	8.31E-37
Environment	1.94	11	0.18	19.4	18.0	1.9	1.59E-16
Genotype × environment	1.39	11	0.13	13.9	12.9	1.9	4.46E-13
Remainder (error)	0.70	72	0.01	7.1			
Total	10.00	95		100.0			
The effect of the mass of 1000 grains, g							
Genotype	1.76	1	1.76	45.9	346.2	4.0	3.19E-29
Environment	0.95	11	0.09	24.7	17.1	1.9	5.79E-16
Genotype × environment	0.76	11	0.07	19.8	13.6	1.9	1.27E-13
Remainder (error)	0.37	72	0.01	9.6			
Total	3.83	95		100.0			

Таблица 6

Параметры гомеостатичности генотипов ячменя от прогнозов биологической урожайности эффектов количественных признаков (\hat{Y}_{rci}) в условиях применения различных сроков посева и норм высева, 2023 г.

Генотип	\hat{Y}_{rci}	ВПА _{ki}	$\sigma^2(G \times E)_{gki}$	σ^2CAC_{ki}	σCAC_{ki}	lg_{ki}	Sg_{ki}	СЦП _{ki}
Эффект числа продуктивных стеблей, шт/м²								
Памяти Чепелева	2,20	-0,25	0,04	0,03	0,18	1,16	8,0	1,38
3856н-6-18	2,62	0,25	0,05	0,13	0,35	0,36	13,5	0,97
Эффект числа зерен в колосе, шт.								
Памяти Чепелева	2,18	-0,34	0,03	0,09	0,30	0,31	13,9	0,88
3856н-6-18	2,86	0,34	0,03	0,07	0,27	0,36	9,4	1,70
Эффект массы 1000 зерен, г								
Памяти Чепелева	2,24	0,07	0,01	0,06	0,24	0,18	10,9	0,88
3856н-6-18	2,11	-0,06	0,01	0,02	0,15	0,40	7,1	1,28
Суммарный эффект количественных признаков								
Памяти Чепелева	6,61	-0,44	0,10	0,32	0,56	0,32	8,5	2,33
3856н-6-18	7,58	0,53	0,08	0,12	0,35	0,67	4,6	4,92

Table 6

Parameters of homeostaticity of barley genotypes from forecasts of biological yield of effects of quantitative characteristics (\hat{Y}_{rci}) under conditions of application of different sowing dates and seeding rates, 2023

Genotype	\hat{Y}_{rci}	WIA _i	$\sigma^2(G \times E)_{gki}$	σ^2CAC_{ki}	σCAC_{ki}	lg_{ki}	Sg_{ki}	BVT _i
Effect of the number of productive stems, pcs/m²								
Pamyati Chepeleva	2.20	-0.25	0.04	0.03	0.18	1.16	8.0	1.38
3856n-6-18	2.62	0.25	0.05	0.13	0.35	0.36	13.5	0.97
The effect of the number of grains in an ear, pcs.								
Pamyati Chepeleva	2.18	-0.34	0.03	0.09	0.30	0.31	13.9	0.88
3856n-6-18	2.86	0.34	0.03	0.07	0.27	0.36	9.4	1.70
The effect of the mass of 1000 grains, g								
Pamyati Chepeleva	2.24	0.07	0.01	0.06	0.24	0.18	10.9	0.88
3856n-6-18	2.11	-0.06	0.01	0.02	0.15	0.40	7.1	1.28
The total effect of quantitative features								
Pamyati Chepeleva	6.61	-0.44	0.10	0.32	0.56	0.32	8.5	2.33
3856n-6-18	7.58	0.53	0.08	0.12	0.35	0.67	4.6	4.92

по взвешенному показателю адаптивности между исследуемыми генотипами установлен паритет ($WPA_{zi} = -0,06...0,07$), разница между прогнозами от эффектов массы 1000 зерен не превышает 0,13 т/га, однако новый номер относительно более стабилен по урожайности ($Sg_{zi} = 7,1\%$), это отразилось на показателе селекционной ценности признака ($СЦП_{zi} = 1,28$) (таблица 6).

Анализ адаптивной реакции По (\hat{Y}_{ci}) определил новый номер 3856н-6-18 как более продуктивный ($\hat{Y}_{ci} = 7,58$ т/га), с превышением средневзвешенного по всем вариантам опыта прогноза урожайности на 0,97 т/га (14,7 %). Номер 3856н-6-18 убедительно доказал свою перспективность как по общей адаптивной способности ($WPA_i = 0,53$) в диапазоне варьирования урожайности от 7,05 до 8,11 т/га, так и по стабильности реакции ($Sg_i = 4,6\%$), что более чем с двукратным преимуществом делает его селекционно ценным ($СЦП_{zi} = 4,92$).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На этапе принятия решения о передаче сорта на государственное сортоиспытание необходима информация об адаптивных свойствах с целью построения гипотезы об адресности и масштабах его дальнейшего государственного испытания. При этом для проведения статистического анализа по известным методикам требуется наличие как минимум восьми сред, чтобы обеспечить приемлемую вариабельность количественных признаков. В данной работе для обеспечения необходимой нормы реакции значений биометрических показателей созданы искусственные среды с применением вариантов от сроков посева и норм высева. В результате по перспективному номеру 3856н-6-18 в течение 2023 года получен диапазон варьирования урожайности: 7,05–8,11 т/га (стандарт Памяти Чепелева – от 6,16 до 7,44 т/га). На основании метода Р. А. Максимова (2021 г.) проведена дезинтеграция

точных прогнозов биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) на прогнозы от эффектов переменных значений количественных Признаков (\hat{Y}_{rci}). Новая база данных дала положительный результат в плане усиления вариабельности по фактору «генотип», отмечен рост дисперсии: прогноз урожайности по эффекту числа продуктивных стеблей – с 0,9 до 13,5 %; по количеству зерен в колосе – с 18,8 до 59,6 %; по массе 1000 зерен – с 5,5 до 45,9 %. Дана сравнительная оценка динамики адаптивной способности, средовой устойчивости и селекционной ценности в течение роста и развития растений, по мере формирования количественных значений элементов биологической урожайности. Перспективный номер по селекционной ценности показал подавляющее преимущество в прогнозе урожайности от эффекта числа зерен в колосе: $СЦП_{2i} = 1,70$, что было обеспечено преобладанием как общей адаптивной способности ($ВПА_{2i} = 0,34$ т/га), так и средовой устойчи-

вости ($Sg_{2i} = 9,4$ %). В начале вегетации выделился сорт Памяти Чепелева ($СЦП_{1i} = 1,38$), это обеспечено значительным превышением по средовой устойчивости ($Sg_{1i} = 8,0$ %). В конце вегетации (формирование, налив и созревание зерна) преимущество за перспективным номером ($СЦП_{3i} = 1,28$), связанное со средовой стабильностью ($Sg_{3i} = 7,1$ %). В целом, перспективный номер 3856н-6-18 при тестировании по срокам посева и нормам высева показал преимущество по селекционной ценности, которое ярко выражено во второй половине вегетации. Учитывая возможности нового номера 3856н-6-18 формировать высокую продуктивность на протяжении всего вегетационного периода, его положительную адаптивную реакцию и селекционную ценность, принято решение о подготовке необходимых данных и семенного материала для передачи на государственное сортоиспытание в 2024 году.

Библиографический список

1. Faye B., Webber H., Gaiser T., Müller C., Zhang Y., Stella T., Latka C., Reckling M., Heckelei T., Helming K., Ewert F. Climate change impacts on European arable crop yields: Sensitivity to assumptions about rotations and residue management // *European Journal of Agronomy*. 2023. No. 142. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126670.
2. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25, № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
3. Семенов Т. Е. Барьеры и перспективы применения новых генетических технологий для производства продуктов питания: варианты регулирования в интересах Российской экономики // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. 2021. Т. 12, № 4. С. 344–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-344-353.
4. Анисимова И. Н., Дубовская А. Г. Системы ЦМС у рапса и их использование в селекции отечественных гибридов // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181, № 3. С. 171–180. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180.
5. Галговская Л. А., Теркина О. В., Романова А. Н. Комбинационная способность новых инбредных линий кукурузы селекции ВНИИК // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2023. № 6 (116). С. 263–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269.
6. Yangyang Gu, Hongxu Ai, Tai Guo, Peng Liu, Yongqing Wang, Hengbiao Zheng, Tao Cheng, Yan Zhu, Weixing Cao and Xia Yao. Comparison of two novel methods for counting wheat ears in the field with terrestrial LiDAR // *Plant Methods*. 2023. Vol. 19. Article number 134. DOI: 10.1186/s13007-023-01093-z.
7. Ерунова М. Г., Симакина А. С., Якубайлик О. Э. Создание базы данных для точного земледелия ОПХ «Курагинское» // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 1 (178). С. 13–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20.
8. Lihodeevskiy G. A., Shanina E. P. The use of long-read sequencing to study the phylogenetic diversity of the potato varieties plastome of the Ural selection // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 4. Article number 846. DOI: 10.3390/agronomy12040846.
9. Максимов Р. А. Адаптивная реакция коллекционных сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в условиях Среднего Урала // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 4. С. 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35.
10. Драгавцев В. А., Кардашина В. Е., Ковтуновская Е.С. Оценка сортов и линий ярового овса с помощью принципа ортогональной идентификации генетико-физиологических систем, определяющих урожаи // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 7. С. 19–24. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_19.
11. Максимов Р. А. Множественный регрессионный анализ как способ дифференциации урожайности по фазам роста и развития генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404.
12. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. No. 4 (32). Pp. 221–230.

13. Чашкова А. Ф., Степочкин П. И., Алейников А. Ф., Гребенникова И. Г., Пономоренко В. И. Сравнение статистических методов оценки стабильности урожайности озимой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 3. С. 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619.
14. Максимов Р. А. Метод определения параметров адаптивной способности с использованием множественного регрессионного анализа взаимосвязи урожайности и ее элементов структуры // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 6. С. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
15. Рейтинг 10 сортов лидеров с/х культур по объемам высева в РФ в 2023 г. [Электронный ресурс]. URL: https://rosselhocenter.ru.nformacionnyj_listok_№_4_ot_rshcz_rejting_sortov.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 336 с.
17. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Методы оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 1. Обоснование метода // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1481–1498.

Об авторе:

Роман Александрович Максимов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0615-8821, AuthorID 754477.
E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

References

- Faye B., Webber H., Gaiser T., Müller C., Zhang Y., Stella T., Latka C., Reckling M., Heckelei T., Helming K., Ewert F. Climate change impacts on European arable crop yields: Sensitivity to assumptions about rotations and residue management. *European Journal of Agronomy*. 2023; 142. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126670.
- Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039. (In Russ.)
- Semenov T. E. Barriers and prospects for the use of new genetic technologies for food production: regulatory options in the interests of the Russian economy. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2021; 12 (4): 344–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-344-353. (In Russ.)
- Anisimova I. N., Dubovskaya A. G. CMS systems in rapeseed and their use in the breeding of domestic hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020; 181 (3): 171–180. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180. (In Russ.)
- Galgovskaya L. A., Terkina O. V., Romanova A. N. Combinational ability of new inbred corn lines of VNIIC breeding. *Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023; 6 (116): 263–269. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-264-269. (In Russ.)
- Yangyang Gu, Hongxu Ai, Tai Guo, Peng Liu, Yongqing Wang, Heng-biao Zheng, Tao Cheng, Yan Zhu, Weixing Cao and Xia Yao. Comparison of two novel methods for counting wheat ears in the field with terrestrial LiDAR. *Plant Methods*. 2023; 19: 134. DOI: 10.1186/s13007-023-01093-z.
- Erunova M. G., Simakina A. S., Yakubaylik O. E. Creation of a database for precision agriculture of the Kuraginskoye agricultural complex]. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 1 (178): 13–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20. (In Russ.)
- Lihodeevskiy G. A., Shanina E. P. The use of long-read sequencing to study the phylogenetic diversity of the potato varieties plastome of the Ural selection. *Agronomy*. 2022; 12 (4): 846. DOI: 10.3390/agronomy12040846.
- Maksimov R. A. Adaptive reaction of collectible varieties of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) in the conditions of the Middle Urals. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36 (4): 35–40. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_35. (In Russ.)
- Dragavtsev V. A., Kardashina V. E., Kovtunovskaya E. S. Evaluation of varieties and lines of spring oats using the principle of orthogonal identification of genetic and physiological systems that determine yields. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36. (7): 19–24. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_19. (In Russ.)
- Maksimov R. A. Multiple regression analysis as a way to differentiate yields by phases of growth and development of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 4: 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404. (In Russ.)
- Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022; 4 (32): 221–230.

13. Chashkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Grebennikova I. G., Ponomorenko V. I. Comparison of statistical methods for assessing the stability of winter wheat yield. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24 (3): 267–275. DOI: 10.18699/VJ20.619. (In Russ.)
14. Maksimov R. A. Method for determining the parameters of adaptive capacity using multiple regression analysis of the relationship between yield and its structural elements. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 6: 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601. (In Russ.)
15. Rating of 10 varieties of agricultural crop leaders in terms of seeding volumes in the Russian Federation in 2023 [Internet] [cited 2024 Mar 10]. Available from: <https://rosselhocenter.ru/upload/inflist/Информационный%20листок%20%20№%204.pdf>. (In Russ.)
16. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. Moscow: Agropromizdat, 1985. 336 p. (In Russ.)
17. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Methods for assessing adaptive capacity and stability of genotypes, differentiating ability of the environment. Message 1. Justification of the method. *Genetics*. 1985; 21 (9): 1481–1498. (In Russ.)

Authors' information:

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

Фенотипическая изменчивость показателей пригодности к механизированной уборке образцов чечевицы (*Lens culinaris* L.)

Т. В. Маракаева ✉

Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

✉ E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Аннотация. В статье изложены данные анализа варьирования наиболее важных параметров пригодности к механизированной уборке у коллекционных образцов чечевицы, привезенных из разных ландшафтно-географических регионов. **Цель исследования** – изучение фенотипических особенностей пригодности к механизированной уборке образцов чечевицы, выявление источников, создание исходного материала для селекции культуры в Западной Сибири. **Методы.** Исследовательская работа осуществлялась в полевых и лабораторных условиях южной лесостепи Омской области в течение трех лет (2022–2024 гг.). За вегетационный период в годы проведения исследований в регионе отмечен недостаток по влагообеспеченности, что привело к засушливости климата (ГТК = 0,83...1,21). Опытный участок расположен на лугово-черноземной среднесуглинистой малогумусной среднесуглинистой комковатой почве с нейтральной реакцией среды (рН = 6,5). **Результаты.** У крупносемянной чечевицы преобладало прикорневое полегание растений (65–73 %), мелкосемянной – разваливание куста (66–71 %). Высокая устойчивость агроценозов к полеганию отмечена в 2023 г. (92,5–96,3 %). Коллекционные образцы условно разделены на два типа: с высокой устойчивостью к полеганию (60,1–89,7 %) и низкой (39,9–57,8 %). На степень устойчивости к полеганию сильно воздействуют генотип сорта и условия произрастания (53,4 %). Высокоустойчивые к полеганию образцы отличались слабой физической нагрузкой на стебель (101,4–103,3 мг/см), более высокой длиной стебля (38,5–45,2 см) и высотой прикрепления нижних бобов (17,6–21,8 см), низкой урожайностью (1,2–1,4 т/га). Слабополегающие образцы характеризовались площадью: поперечного среза – 5,22 мм², ксилемы – 2,15 мм², одревесневших элементов – 2,31 мм², склеренхимных тяжей – 33,21 мкм², количество склеренхимных тяжей – 11,23 шт. **Научная новизна.** Проведенная исследовательская работа позволила отобрать перспективные образцы чечевицы, для дальнейшего применения их как источников высокой технологичности при создании новых регионально адаптированных высокопродуктивных сортов культуры.

Ключевые слова: чечевица, пригодность к механизированной уборке, устойчивость к полеганию, высота растения, высота прикрепления нижних бобов, урожайность

Благодарности. Данное исследование проведено при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 24-26-20033 от 12.04.2024 г.).

Для цитирования: Маракаева Т. В. Фенотипическая изменчивость показателей пригодности к механизированной уборке образцов чечевицы (*Lens culinaris* L.) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1266–1276. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1266-1276>.

Дата поступления статьи: 21.08.2024, **дата рецензирования:** 17.09.2024, **дата принятия:** 20.09.2024.

Phenotypic variability of lentil (*Lens culinaris* L.) accessions suitability for mechanical harvesting

T. V. Marakaeva✉

Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

✉E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Abstract. The article presents the data of the analysis of variations in the most important parameters of suitability for mechanized harvesting in collection accessions of lentils brought from different landscape-geographic regions. The aim of the study is to investigate the phenotypic features of suitability for mechanized harvesting of lentil accessions, identify sources, and create source material for crop selection in Western Siberia. **Methods.** The research work was carried out in the field and laboratory conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region for three years (2022–2024). During the growing season in the years of research, a lack of moisture supply was noted in the region, which led to an arid climate ($HTC = 0.83 \dots 1.21$). The experimental site is located on meadow-chernozem medium-deep low-humus medium loamy lumpy soil with a neutral reaction of the environment ($pH = 6.5$). **Results.** In large-seeded lentils, root lodging of plants was predominant (65–73 %), while in small-seeded lentils, bush collapse (66–71 %). High resistance of agrocenoses to lodging was noted in 2023 (92.5–96.3 %). The collection samples are conventionally divided into two types: with high lodging resistance (60.1–89.7 %) and low (39.9–57.8 %). The degree of lodging resistance is strongly influenced by the genotype of the variety and growing conditions (53.4 %). Samples highly resistant to lodging were characterized by low physical stress on the stem (101.4–103.3 mg/cm), higher stem length (38.5–45.2 cm) and lower bean attachment height (17.6–21.8 cm), and low yield (1.2–1.4 t/ha). The weakly lodging samples were characterized by the following area: cross-section – 5.22 mm², xylem – 2.15 mm², lignified elements – 2.31 mm², sclerenchyma strands – 33.21 μm², the number of sclerenchyma strands – 11.23 pcs. **Scientific novelty.** The conducted research work allowed us to select promising lentil samples for their further use as sources of high technology in the creation of new regionally adapted highly productive varieties of the crop.

Keywords: lentils, suitability for mechanical harvesting, lodging resistance, plant height, lower bean attachment height, yield

Acknowledgement. This study was conducted with the financial support of the Russian Science Foundation (agreement No. 24-26-20033 dated 12/04/2024).

For citation: Marakaeva T. V. Phenotypic variability of lentil (*Lens culinaris* L.) accessions suitability for mechanical harvesting. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1266–1276. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1266-1276>. (In Russ.)

Date of paper submission: 21.08.2024, **date of review:** 17.09.2024, **date of acceptance:** 20.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

С увеличением культуры потребления растительного белка и нарастающей популяризации вегетарианских диет чечевица оказывается выгодной альтернативой продуктам питания из мяса среди целевой аудитории во всем мире [1]. Согласно статистике, культура относится к лидерам среди зерновых бобовых по мировым посевным площадям [2]. Чечевица возделывается не менее чем в пятидесяти странах земного шара [3]. По данным ФАО, мировое производство чечевицы в 2023 году превысило 7 млн тонн [4]. К крупнейшим производителям относятся Канада, Индия, Австралия, Турция, США. Перечисленные страны составляют значительную часть в мировом развитии, возделывании и экспорте чечевичного зерна (более 40 тыс. тонн.) [5].

Опираясь на статистические данные Росстата, выясняется, что в Российской Федерации в предыдущий год зафиксирован рекордный за последние шесть лет объем зерна зернобобовых культур (4,6 млн тонн) [6]. Это на 18,8 % (+722,1 тыс. тонн) выше, чем в 2022 году. При этом производство чечевицы увеличилось на 46,4 % (+81,8 тыс. тонн) и составило 257,9 тыс. тонн [7]. Это вызвано расширением ее посевных площадей на 55,4 тыс. га (33,8 %), увеличением урожайности (до 11,9 ц/га), а также резкой интенсификацией экспортных поставок культуры [8].

Среди федеральных округов РФ ведущим поставщиком зерна чечевицы является Сибирский ФО (45,6 % всех посевов). Значительная часть (более 30 тыс. га) всех посевов федерального округа расположены в Омской области [9].

Стоит отметить, что возделываемые в регионе сорта показывают достаточно нестабильную урожайность из года в год. Если проанализировать статистику за последние пять лет, то заметно значительное варьирование данного показателя (9,1–19,5 ц/га) [10]. В связи с тем, что распространенные в Омской области сорта малоприспособлены к сибирским переменчивым агроклиматическим условиям, для них характерен высокий процент полегания растений (до 80 %), низкое расположение (10–13 см), неравномерное созревание и преждевременное растрескивание бобов, сопутствующие сильному осыпанию семян [11]. В конце концов перечисленные недостатки приводят к ощутимому снижению урожайности за счет серьезных потерь при уборке. В связи с тем, что чечевица слабо конкурирует с сорняками и сильно подвержена воздействию гербицидов, разработать оптимальную технологию защиты ее посевов в регионе довольно непросто [12]. Именно по этим причинам сдерживается заинтересованность к чечевице у местных производителей сельскохозяйственной продукции.

Для решения этого вопроса отечественные селекционеры ведут научно-исследовательскую работу по главным векторам селекционного процесса чечевицы с целью создания не только адаптированных к агроклиматическим факторам среды сортов, но также в полной мере отвечающих актуальным производственным требованиям [13]. Такие показатели, как степень ветвистости и полегания, характер ветвления, равномерное созревание, устойчивость к растрескиванию бобов и осыпанию семян, длина стебля и высота расположения нижних бобов на растении считаются наиболее значимыми при селекции чечевицы на пригодность к механизированной уборке [14].

В селекции сельскохозяйственных культур при создании нового исходного материала в первую очередь опираются на собранный генофонд, включающий достаточно большое разнообразие сортов [15], у которых проводят непрерывную оценку изменчивости основных хозяйственно ценных признаков на протяжении долгого периода, начиная еще на начальном этапе селекционного процесса [16].

Созданная в Омском аграрном университете международная коллекция чечевицы характеризуется многообразием образцов определенного экологического и географического происхождения, которые ежегодно оцениваются на наличие необходимых селекционных показателей. В последующем отбираются лучшие образцы, которые в дальнейшей селекции чечевицы применяются как источники ценных признаков [17].

Цель исследований – фенотипирование и отбор уникальных генотипов чечевицы, отличающихся высоким значением основных признаков пригодности к механизированной уборке.

Методология и методы исследования (Methods)

Практическая часть представленных трехлетних результатов (2022–2024 гг.) выполнена в полевых и лабораторных условиях южной лесостепи Омской области. В период изучения создались контрастные погодные условия. В 2022 году отмечены слабо засушливые условия периода вегетации чечевицы (ГТК = 1,02). Осадки распределялись неравномерно, а основная их часть зафиксирована во второй половине вегетационного периода. Всего в этом году осадков выпало на 30,7 % больше нормы (287,6 мм), а температура воздуха на 2–3 °С превышала среднегодовое значение. В 2023 году сложились достаточно нетипичные для региона погодные условия. Зафиксирован значительный недостаток осадков (85,1 % от нормы), а температура воздуха временами достигала 35–38 °С. Такие показатели привели к засушливости климата (ГТК = 0,83). Выпавшее количество осадков (227 мм) за вегетационный период чечевицы 2024 года (май – август) незначительно превысило среднегодовое значение (103,2 % от нормы), а температура воздуха была близка к норме. В этом году для роста и развития чечевицы сформировались слабо засушливые условия увлажнения (ГТК = 1,21).

Опытные делянки расположены на лугово-черноземной почве, для которой характерно низкое содержание гумуса в верхних горизонтах (3,95 %), мощность пахотного слоя до 45 см, содержание физической глины до 35 %. Структура почвы комковатая, так как содержится более 15 % агрегатов мельче 0,25 мм. Реакция почвы близка к нейтральной (рН = 6,5). Тип сложения – плотный ($d_v = 1,18$ г/см³). В предшествующий год на данном участке высевалась пшеница яровая мягкая. Посев опытных делянок (площадь 1 м²) проведен вручную на глубину заделки семян 5 см. Период посева – середина мая.

Исследование фенотипических особенностей варьирования морфологических признаков выполнено на коллекционных образцах тарелочной (крупносемянной) и мелкосемянной чечевицы, созданных в разных почвенно-климатических условиях. При созревании более 75 % бобов на растениях проведена двухэтапная уборка: сбор в снопы и последующее дозревание. В лабораторных условиях у 10 растений каждого коллекционного образца проведен анализ основных показателей пригодности к механизированной уборке: высота растения, степень ветвистости, характер ветвления, высота прикрепления нижнего боба, расстояние от почвы до кончика нижнего боба, степень полегания и степень растрескивания бобов.

Изучение коллекционных образцов чечевицы выполнены по соответствующим методикам. Определена устойчивость растений чечевицы к полеганию в фазы цветения, образование и созревание бобов. Показатель вычислялся как отношение вы-

соты агроценоза к высоте одного растения. Также была рассчитана линейная плотность главного стебля. Для этого определялась масса сухого растения, а полученное значение делилось на длину этого растения. Оценка анатомического строения стебля растений чечевицы выполнена с использованием биологического прямого микроскопа АРСТЕК Е62. Для этого у каждого образца в период созревания культуры отобраны срезы в нижней части стебля в десятикратной повторности. Оценка проведена согласно Методическими указаниями по технике проведения анатомических исследований культурных растений. Математическая обработка полученных результатов осуществлена методом дисперсионного и корреляционного анализов в программе STATISTICA v. 10.0 (StatSoft, Inc., США).

Результаты (Results)

Пригодность агроценозов зерновых бобовых культур к механизированной уборке считается важным показателем увеличения их урожайности и качества зерна. При низкой технологичности культуры недобор урожая может достигать уровня 70–80 %, а качественные показатели при уборке семян значительно хуже [18]. Низкая устойчивость к полеганию, разваливание куста, низкое прикрепление нижнего боба, высокое осыпание семян характерны

и для значимой зернобобовой культуры чечевицы. Перечисленные недостатки указывают на слабую технологичность культуры, в конечном итоге приводящую к низкой урожайности. Как раз по этой причине товаропроизводители сельскохозяйственной продукции с осторожностью вводят культуру в структуру посевных площадей [19].

Стоит отметить, что не только генотип оказывает влияние на показатели пригодности к механизированной уборке, существенное значение имеют и агроклиматические условия возделывания. Например, сильное полегание растений отмечается в годы избыточно влажные, когда чечевица развивает мощную вегетативную массу. В умеренно влажные и даже засушливые годы полегание также проявляется, но только когда пройдут обильные дожди с ветром в период налива или созревания зерна [20].

В ходе исследований все коллекционные образцы чечевицы по виду полегания распределены на две группы (рис. 1). В первой группе наклон главного стебля отмечен примерно в 10 см от корня. Это так называемое прикорневое полегание. У растений второй группы наблюдался сильное отклонение боковых побегов от главного стебля, то есть разваливание куста.

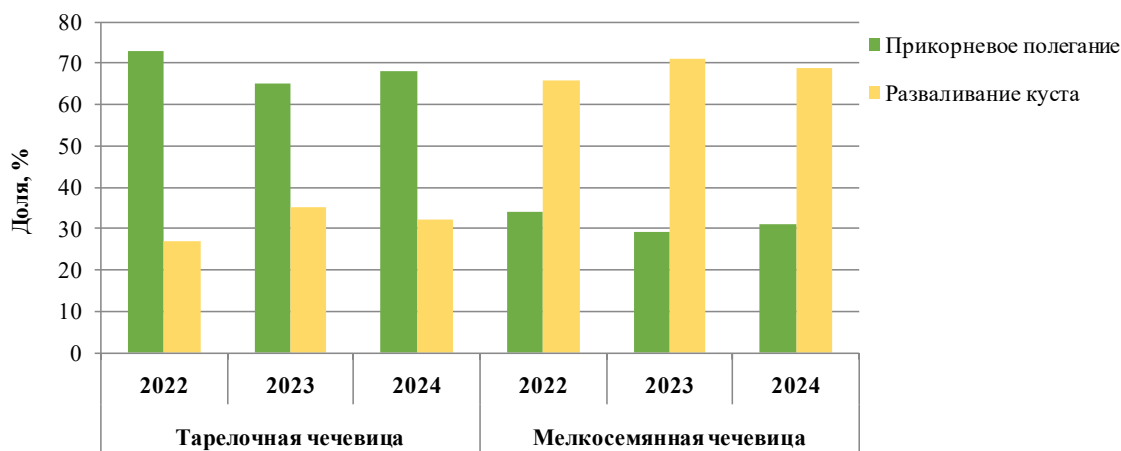


Рис. 1. Распределение коллекционных образцов чечевицы по группам устойчивости к полеганию

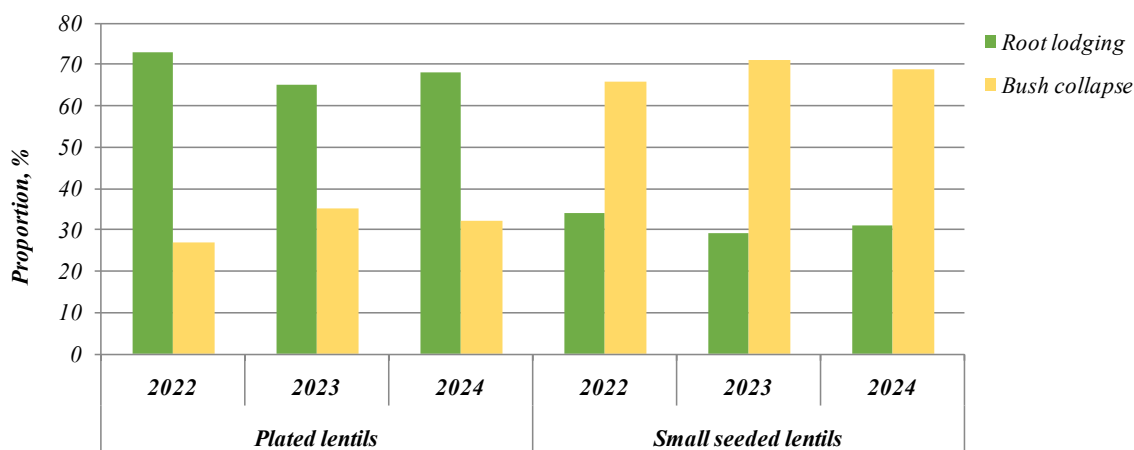


Fig. 1. Distribution of collection samples of lentils by lodging resistance groups

Таблица 1
Устойчивость агроценозов чечевицы к полеганию, % (2022–2024 гг.)

Тип устойчивости к полеганию	2022	2023	2024	Среднее
Тарелочная чечевица				
С высокой устойчивостью	60,2–78,3	62,2–96,3	60,0–94,4	60,8–89,7
С низкой устойчивостью	31,6–54,3	43,6–59,6	44,5–59,4	39,9–57,8
Мелкосемянная чечевица				
С высокой устойчивостью	57,3–76,4	61,9–92,5	61,1–83,5	60,1–84,1
С низкой устойчивостью	34,8–51,2	50,6–58,4	52,3–59,6	45,9–56,4

Table 1
Resistance of lentil agrocenoses to lodging, % (2022–2024)

Lodging resistance type	2022	2023	2024	Average
Plated lentils				
With high stability	60.2–78.3	62.2–96.3	60.0–94.4	60.8–89.7
With low stability	31.6–54.3	43.6–59.6	44.5–59.4	39.9–57.8
Small seeded lentils				
With high stability	57.3–76.4	61.9–92.5	61.1–83.5	60.1–84.1
With low stability	34.8–51.2	50.6–58.4	52.3–59.6	45.9–56.4

Таблица 2
Пригодность к механизированной уборке и продуктивность чечевицы (среднее за 2022–2024 гг.)

Показатель	Тарелочная		Мелкосемянная	
	С высокой устойчивостью	С низкой устойчивостью	С высокой устойчивостью	С низкой устойчивостью
Длина стебля, см	45,2	42,1	38,5	35,4
Высота прикрепления нижних бобов, см	21,8	19,1	17,6	14,9
Число ветвей, шт.	4,1	3,8	3,6	3,5
Надземная биомасса, г	4,3	4,3	4,1	4,1
Уборочный индекс, %	41,2	43,3	39,2	41,3
Линейная плотность главного стебля, мг/см	9,6	10,4	9,2	9,9
Физическая нагрузка на стебель, мг/см	103,3	111,4	101,4	109,5
Число бобов на растении, шт.	27,2	33,9	29,3	36,1
Число семян на растении, шт.	30,4	42,8	31,6	43,8
Масса семян с растения, г	1,83	1,96	1,42	1,55
Масса 1000 семян, г	62,3	62,4	47,6	48,1
Урожайность, т/га	1,4	1,5	1,2	1,3

Table 2
Lentil harvestability and productivity (average for 2022–2024)

Indicator	Plated lentils		Small seeded lentils	
	With high stability	With low stability	With high stability	With low stability
Stem length, cm	45.2	42.1	38.5	35.4
Height of attachment of lower beans, cm	21.8	19.1	17.6	14.9
Number of branches, pcs.	4.1	3.8	3.6	3.5
Aboveground biomass, g	4.3	4.3	4.1	4.1
Harvest index, %	41.2	43.3	39.2	41.3
Linear density of the main stem, mg/cm	9.6	10.4	9.2	9.9
Physical load on stem, mg/cm	103.3	111.4	101.4	109.5
Number of beans per plant, pcs.	27.2	33.9	29.3	36.1
Number of seeds per plant, pcs.	30.4	42.8	31.6	43.8
Seed weight per plant, g	1.83	1.96	1.42	1.55
Weight of 1000 seeds, g	62.3	62.4	47.6	48.1
Yield, t/ha	1.4	1.5	1.2	1.3

Среди коллекционных образцов крупносемянной (тарелочной) чечевицы преобладало прикорневое полегание растений (65–73 %) в течение всего периода исследований. У мелкосемянных образцов наблюдалась обратная картина, и у большинства растений отмечено разваливание куста (66–71 %).

Единичное полегание растений чечевицы отмечено уже в период от массовой бутонизации до начала цветения. В последующем степень полегания растений равномерно увеличивалась и продолжалась до фазы образования бобов.

Благодаря контрастности погоды вегетационного периода в годы исследований показатель устойчивости растений к полеганию заметно изменялся. Фенологические наблюдения позволили определить два условных типа образцов: с высокой устойчивостью к полеганию 60,8–89,7 % (тарелочная чечевица) и 60,1–84,1 % (мелкосемянная чечевица) и с низкой – 39,9–57,8 % (тарелочная чечевица) и 45,9–56,4 % (мелкосемянная чечевица) (таблица 1).

В связи с засушливостью условий вегетационного периода (ГТК = 0,83) и своевременной уборке в 2023 году отмечено достаточно высокое значение показателя у большинства образцов чечевицы. Диапазон изменчивости показателя в этот год составил 43,6–96,3 % у тарелочной чечевицы и 50,6–92,5 % – мелкосемянной. Из-за схожих климатических условий, в 2024 году значение признака было приближено к результатам предыдущего года и составило 44,5–94,4 % у крупносемянных образцов, 52,3–83,5 % – у мелкосемянных. Обильные осадки в период созревания 2022 года (ГТК = 1,02) отрицательно повлияли на устойчивость к полеганию. Осадки распределялись неравномерно, а основная их часть зафиксирована во второй половине вегетационного периода. Именно в этот год наблюдалось самое сильное полегание агроценозов у всех изученных

образцов как тарелочной чечевицы (31,6–78,3 %), так и мелкосемянной (34,8–76,4 %).

Дисперсионный анализ установил ощутимое влияние взаимодействия генотипа сорта (фактор А) и условий произрастания (фактор В) на фенотипическое проявление устойчивости к полеганию (53,4 %), что подтверждается полученными результатами.

Доля влияния наследственных особенностей сорта на устойчивость к полеганию составила 23,6 % и выражена хозяйственно -ценными признаками, представленными в таблице 2.

Но физической нагрузке на стебель растения наблюдались заметные различия между образцами высокоустойчивыми и низкоустойчивыми. У первых значение показателя было значительно ниже (101,4–103,3 мг/см). К тому же они отличались достаточно высоким растением (38,5–45,2 см) и расположением нижних бобов (17,6–21,8 см). По продуктивности в этой группе образцов наблюдалась абсолютно противоположная ситуация. Значение основных элементов продуктивности, и как следствие урожайности было ниже, чем у сильнополегающих образцов чечевицы на 6–8 %. По остальным исследуемым морфологическим признакам кардинальных отличий не выявлено.

Полученный коэффициент корреляции между устойчивостью к полеганию и линейной плотностью главного стебля ($r = 0,32 \pm 0,07$) определил, что растение чечевицы способно полегать независимо от длины, толщины и плотности последнего.

Для подтверждения этого проведено сравнение анатомического строения поперечных срезов главного стебля слабо- и сильнополегающего растений чечевицы. На рис. 2 представлены полученные результаты.

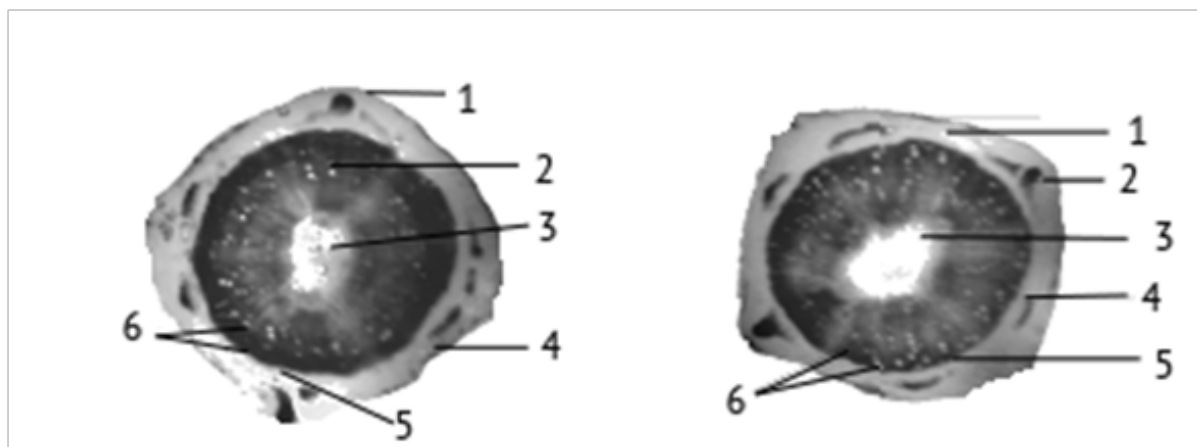


Рис. 2. Анатомическое строение главного стебля слабополегающего (слева) и сильнополегающего (справа) образца чечевицы, 2024 г. (1 – покровная ткань, 2 – ксилема и одревесневшая паренхима, 3 – сердцевина, 4 – флоэма, 5 – тяжи склеренхимы, 6 – проводящие пучки)

Fig. 2. Anatomical structure of the main stem of a weakly lodging (left) and strongly lodging (right) lentil specimen, 2024 (1 – integumentary tissue, 2 – xylem and lignified parenchyma, 3 – pith, 4 – phloem, 5 – sclerenchyma strands, 6 – vascular bundles)

Таблица 3

Анатомические параметры стебля у образцов чечевицы (среднее за 2022–2024 гг.)

Параметр	Тарелочная		Мелкосемянная	
	С высокой устойчивостью	С низкой устойчивостью	С высокой устойчивостью	С низкой устойчивостью
Площадь среза, мм ²	5,22	4,92	4,64	4,36
Площадь ксилемы, мм ²	2,15	2,07	2,05	1,93
Площадь одревесневших элементов, мм ²	2,31	2,16	2,19	2,01
Площадь склеренхимных тяжей, мкм ²	33,21	28,72	31,93	26,73
Количество склеренхимных тяжей, шт.	11,23	9,91	10,4	9,24

Агротехнологии

Table 3

Anatomical parameters of the stem in lentil samples (average for 2022–2024)

Parameter	Plated lentils		Small seeded lentils	
	With high stability	With low stability	With high stability	With low stability
Cut area, mm ²	5.22	4.92	4.64	4.36
Xylem area, mm ²	2.15	2.07	2.05	1.93
Area of lignified elements, mm ²	2.31	2.16	2.19	2.01
Area of sclerenchyma strands, μm ²	33.21	28.72	31.93	26.73
Number of sclerenchyma strands, pcs.	11.23	9.91	10.4	9.24

По типу строения главного стебля чечевица относится к представителям двудольных растений, имеющим систему открытых проводящих пучков, разделенных сердцевинными радиальными лучами (эустела). Стоит отметить, что при проведении анатомической оценке стебля проводящие пучки мало заметны. На самом деле они есть, но сливаются в зоне, образуемой за счет деятельности камбия, т. е. вторичной ксилемы. Поэтому пучковое строение стелы было оценено только по числу и площади склеренхимных тяжей.

В ходе исследований зафиксировано значительное отличие анатомического строения среза стебля слабополегающего растения от сильнополегающего по морфометрическим показателям. Так, у образцов с высокой устойчивостью к полеганию площадь поперечного среза в среднем составила 5,22 мм². Площадь ксилемы и одревесневших элементов – 2,15 мм² и 2,31 мм² соответственно. Количество склеренхимных тяжей насчитывалось 11,23 шт., а их площадь равна 33,21 мкм². У образцов с низкой устойчивостью к полеганию значение вышеуказанных показателей были ниже в среднем 7–19 % (таблица 3).

Проведенный статистический анализ определил положительную зависимость устойчивости к полеганию от площади тяжей склеренхимы ($r = 0,57 \pm 0,09$).

На основании полученных в ходе проведения исследований результатов отобраны образцы крупносемянной (тарелочной) и мелкосемянной чечевицы, отличившиеся высоким значением хозяйственно ценных и морфо-анатомических показателей пригодности к механизированной уборке (таблица 4).

Выделенные коллекционные образцы планируется включить в дальнейшие ступени процесса селекции чечевицы в регионе.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В течение всего периода исследований среди коллекционных образцов крупносемянной (тарелочной) чечевицы преобладало прикорневое полегание растений (65–73 %), мелкосемянной – разваливание куста (66–71 %).

2. Наибольшая устойчивость агроценозов к полеганию большинства коллекционных образцов отмечена в засушливом 2023 году (ГТК = 0,83) и составила 43,6–96,3 % у тарелочной и 50,6–92,5 % мелкосемянной чечевицы.

3. Изученные коллекционные образцы условно разделены на два типа: с высокой устойчивостью к полеганию 60,8–89,7 % (тарелочная чечевица) и 60,1–84,1 % (мелкосемянная чечевица) и с низкой – 39,9–57,8 % (тарелочная чечевица) и 45,9–56,4 % (мелкосемянная чечевица).

4. Выполненный дисперсионный анализ установил ощутимое влияние совместного взаимодействия генотипа сорта и условий произрастания на фенотипическое проявление устойчивости к полеганию (53,4 %).

5. Коллекционные образцы с высокой устойчивостью к полеганию как крупносемянной, так и мелкосемянной чечевицы отличались значительно слабой физической нагрузкой на стебель (103,3 мг/см и 101,4 мг/см соответственно), наибольшей длиной стебля (45,2 см и 38,5 см соответственно) и достаточно высоким расположением на растении нижних бобов (21,8 см и 17,6 см соответственно).

6. Полученный коэффициент корреляции между устойчивостью к полеганию и линейной плотностью главного стебля ($r = 0,32 \pm 0,07$) определил, что растение чечевицы способно полегать независимо от длины, толщины и плотности последнего.

Характеристика отобранных по результатам исследований образцов чечевицы, (среднее за 2022–2024 гг.)

Образец	Длина стебля, см	Устойчивость к полеганию, %	Высота прикрепления нижних бобов, см	Урожайность, т/га
Тарелочная чечевица				
Аида, стандарт	41,2	53,6	18,4	1,72
Чернушереаса	40,3	84,6	19,2	2,21
Vantage	43,1	82,8	19,4	1,93
Линза	39,2	86,5	21,1	1,85
Шырайлы	39,4	83,5	20,3	1,91
Надежда	45,5	87,4	23,2	2,18
Рауза	38,4	86,4	18,6	2,16
Даная	40,6	85,3	18,8	2,13
НСР ₀₅	1,2	21,2	0,2	0,12
Мелкосемянная чечевица				
Пикантная, стандарт	27,2	54,3	14,2	1,32
Redcap	45,2	78,6	22,6	1,99
Pardina Linsen	34,6	82,3	19,6	1,86
Крапинка	33,5	80,6	19,8	1,95
Орловская краснозерная	38,6	79,6	18,0	1,92
КДЦ Кермит	33,4	81,4	19,8	1,93
Северная	43,2	80,7	20,3	1,85
Рубиновая	38,6	79,8	19,6	1,84
НСР ₀₅	4,5	15,4	3,6	0,37

Table 4
Characteristics of lentil samples selected based on research results (average for 2022–2024)

Sample	Stem length, cm	Lodging resistance, %	Lower bean attachment height, cm	Yield, t/ha
Plated lentils				
<i>Aida, standard</i>	41,2	53,6	18,4	1,72
<i>Chernushereasa</i>	40,3	84,6	19,2	2,21
<i>Vantage</i>	43,1	82,8	19,4	1,93
<i>Linza</i>	39,2	86,5	21,1	1,85
<i>Shyrayly</i>	39,4	83,5	20,3	1,91
<i>Nadezhda</i>	45,5	87,4	23,2	2,18
<i>Rauza</i>	38,4	86,4	18,6	2,16
<i>Danaya</i>	40,6	85,3	18,8	2,13
<i>NSR₀₅</i>	1,2	21,2	0,2	0,12
Small seeded lentils				
<i>Pikantnaya, standard</i>	27,2	54,3	14,2	1,32
<i>Redcap</i>	45,2	78,6	22,6	1,99
<i>Pardina Linsen</i>	34,6	82,3	19,6	1,86
<i>Krapinka</i>	33,5	80,6	19,8	1,95
<i>Orlovskaya krasnozernaya</i>	38,6	79,6	18,0	1,92
<i>KDTs Kermit</i>	33,4	81,4	19,8	1,93
<i>Severnaya</i>	43,2	80,7	20,3	1,85
<i>Rubynovaya</i>	38,6	79,8	19,6	1,84
<i>NSR₀₅</i>	4,5	15,4	3,6	0,37

7. Для слабополегающих образцов характерно: площадь поперечного среза – 5,22 мм², ксилемы – 2,15 мм², одревесневших элементов – 2,31 мм², склеренхимных тяжей – 33,21 мкм², количество склеренхимных тяжей – 11,23 шт. Сильнополегающие образцы отличались более низким значением данных показателей: в среднем 7–19 %.

8. Установлена положительная зависимость устойчивости к полеганию от площади тяжелой склеренхимы ($r = 0,57 \pm 0,09$).

9. По результатам исследований отобрано по семь высокопригодных к механизированной уборке образцов тарелочной (крупносемянной) и мелкосемянной чечевицы для дальнейшей селекционной работы в агроэкологический условиях региона.

Библиографический список

1. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
2. Шихалиева К. Б., Аббасов М. А., Рустамов Х. Н. [и др.] Роль генофонда чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) из коллекции зернобобовых культур в решении задач селекции в Азербайджане // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2 (26). С. 36–43. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10013.
3. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. [и др.] Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
4. Маракаева Т. В., Горбачева Т. В. Перспектива развития производства чечевицы в Омской области // Второй Международный форум «Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России». Омск, 2018. С. 123–126.
5. Зайцев С. А., Рожков П. Ю., Миронов И. В. Испытание чечевицы отечественной селекции в различных условиях выращивания // Вавиловские чтения – 2022: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов, 2022. С. 98–103.
6. Иконников А. В. Семенная продуктивность перспективных коллекционных образцов чечевицы // Роль молодых ученых в инновационном развитии сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Орел, 2019. С. 67–69.
7. Дворянинов С. А., Сорокина И. Ю., Пимонов К. И. Исходный материал для селекции чечевицы в условиях Ростовской области РФ // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства: материалы международной научно-практической конференции. Персиановский, 2019. С. 185–196.
8. Сорокина И. Ю. Изучение коллекционных образцов чечевицы для создания новых сортов в условиях Юга России // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1-1 (115). С. 140–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.028.
9. Стасюк А. И., Леонова И. Н., Пономарева М. Л. [и др.] Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus.
10. Kazydub N., Marakayeva T., Kuzmina S. et al. Chemical composition of seeds and green beans of common bean varieties, breded in Omsk State Agrarian University under conditions of southern forest-steppe zone of Western Siberia // Agronomy Research. 2017. Vol. 15, No. 5. Pp. 1918–1927. DOI: 10.15159/AR.17.065.
11. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A. et al. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security: Conference proceedings. Switzerland, 2022. Pp. 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.
12. Вишнякова М. А., Александрова Т. Г., Буравцева Т. В. [и др.] Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР и его использование в отечественной селекции (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180, № 2. С. 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019- 2-109-123.
13. Маракаева Т. В. Фенотипическая изменчивость селекционных линий чечевицы (*Lens culinaris* L.) по элементам семенной продуктивности в экологических условиях Омской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 86–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97.
14. Liber M., Oliveira H. R., Maia A. T., Duarte I. The History of Lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*) Domestication and Spread as Revealed by Genotyping-by-Sequencing of Wild and Landrace Accessions // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Article number 628439. DOI: 10.3389/fpls.2021.628439.
15. Поминов А. В. Мировая коллекция ВИР – исходный материал для селекции чечевицы в условиях нижнего Поволжья РФ // Вавиловские чтения – 2019: международная научно-практическая конференция, посвященная 132-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов, 2019. С. 100–103.
16. Крылова Е. А., Хлесткина Е. К., Бурляева М. О., Вишнякова М. А. Детерминантный характер роста зернобобовых культур: роль в доместикации и селекции, генетический контроль // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141.
17. Ногаев В. О. Зернобобовые культуры на мировом рынке // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2020. С. 74–76.
18. Куленцан А. Л., Марчук А. Л. Исследование и анализ влияния эффективности производства зерновых и зернобобовых культур // Синергия Наук. 2019. № 42. С. 113–122.

19. Возиян В. И., Якобуца М. Д., Авдээний Л. П. Селекционные достижения в создании новых сортов зернобобовых культур в НИИПК «Селекция» Республики Молдова // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 3 (31). С. 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112.

20. Гриднева Е. Е., Калиакпарова Г. Ш. Чечевица – ценная зернобобовая культура для Казахстана // Проблемы аграрника. 2019. № 2. С. 160–166.

Об авторах:

Татьяна Владимировна Маракаева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия; ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932.

E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

References

1. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041. (In Russ.)

2. Shikhaliyeva K. B., Abbasov M. A., Rustamov Kh. N. Role of lentil genepool (*Lens Culinaris Medik.*) from legume collection in the solution of breeding problems in Azerbaijan. *Legumes and Groat Crops*. 2018; 2 (26): 36–43. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10013. (In Russ.)

3. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V. et al. Development of production of leguminous and groat crops in Russia based on the use of selection achievements. *Legumes and Groat Crops*. 2020; 4 (36): 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198. (In Russ.)

4. Marakaeva T. V., Gorbacheva T. V. Prospects for the development of lentil production in the Omsk region. *The Second International Forum “Leguminous crops, a developing trend in Russia”*. Omsk, 2018. Pp. 123–126. (In Russ.)

5. Zaytsev S. A., Rozhkov P. Yu., Mironov I. V. Testing lentils of domestic selection under various growing conditions. *Vavilov Readings – 2022: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 135th anniversary of the birth of Academician N. I. Vavilov*. Saratov: “Amirit” LLC, 2022. Pp. 98–103. (In Russ.)

6. Ikonnikov A. V. Seed productivity of promising collection samples of lentils. *The role of young scientists in the innovative development of agriculture: proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists*. Oryol, 2019. Pp. 67–69. (In Russ.)

7. Dvoryaninov S. A., Sorokina I. Yu., Pimonov K. I. Source material for breeding lentils in Rostov region, Russian Federation. *Resource conservation and adaptability in technologies of crop cultivation and processing of crop production: materials of the international scientific and practical conference*. Persianovskiy, 2019. Pp. 185–196. (In Russ.)

8. Sorokina I. Yu. A Study of lentil samples for the purposes of creating new varieties in the south of Russia. *International Research Journal*. 2022; 1-1 (115): 140–143. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.028. (In Russ.)

9. Stasyuk A. I., Leonova I. N., Ponomareva M. L. Phenotypic variability of common wheat (*triticum aestivum L.*) breeding lines on yield components under environmental conditions of western Siberia and Tatarstan. *Agricultural Biology*. 2021; 56 (1): 78–91. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.1.78rus. (In Russ.)

10. Kazhdub N., Marakaeva T., Kuzmina S. Chemical composition of seeds and green beans of common bean varieties, bred in Omsk State Agrarian University under conditions of southern forest-steppe zone of Western Siberia. *Agronomy Research*. 2017; 15 (5): 1918–1927. DOI: 10.15159/AR.17.065.

11. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region. *Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security: conference proceedings*. Switzerland, 2022; 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.

12. Vishnyakova M. A., Aleksandrova T. G., Buravtseva T. V. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019; 180 (2): 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123. (In Russ.)

13. Marakaeva T. V. Phenotypic variability of breeding lines of lentils (*Lens culinaris L.*) according to the elements of seed productivity in the ecological conditions of the Omsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (01): 86–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97. (In Russ.)

14. Liber M., Oliveira H. R., Maia A. T., Duarte I. The History of Lentil (*Lens culinaris subsp. culinaris*) Domestication and Spread as Revealed by Genotyping-by-Sequencing of Wild and Landrace Accessions. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 628439. DOI: 10.3389/fpls.2021.628439.

15. Pominov A. V. World collection of VIR – the starting material for selection of lentil in the conditions of lower Volga area of the Russian Federation. *Vavilov Readings – 2019: collection of articles of the International*

Scientific and Practical Conference dedicated to the 132nd anniversary of the birth of Academician N. I. Vavilov. Saratov, 2019; 100–103. (In Russ.)

16. Krylova E. A., Khlestkina E. K., Burlyayeva M. O., Vishnyakova M. A. Determinate growth habit of grain legumes: role in domestication and selection, genetic control. *Ecological Genetics*. 2020; 18 (1): 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141. (In Russ.)

17. Nogaev V. O. Leguminous crops on the world market. *The Contribution of Young Scientists to the Innovative Development of the Russian Agro-Industrial Complex: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists*. Penza, 2020; 74–76. (In Russ.)

18. Kulentsan A. L., Marchuk A. L. Study and analysis the effect of the efficiency of production of grain and leguminous crops. *Sinergiya Nauk*. 2019; 42: 113–122. (In Russ.)

19. Voziyan V. I., Yakobutsa M. D., Avedeniy L. P. Breeding achievements in creating new varieties of leguminous crops in the scientific research institute of field crops “Selection” of the Republic of Moldova. *Legumes and Groat Crops*. 2019; 3 (31): 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112. (In Russ.)

20. Gridneva E. E., Kaliakparova G. Sh. Lentils are a valuable leguminous crop for Kazakhstan. *Problems of AgriMarket*. 2019; 2: 160–166. (In Russ.)

Authors' information:

Tatyana V. Marakaeva, candidate of agricultural sciences, associate professor, Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia; ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932. *E-mail: tv.marakaeva@omgau.org*

Типы лиственничных лесов на территории Приморского края

Л. Ю. Острошенко[✉], А. И. Ларьков

Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Россия

[✉]E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – изучить лиственничные леса на территории Кавалеровского участкового лесничества Кавалеровского филиала КГУ «Приморское лесничество» с целью предложения в них комплекса лесохозяйственных мероприятий. **Научная новизна.** Лиственничные леса являются самой распространенной лесной формацией. Однако на Дальнем Востоке, где произрастает третья часть всех видов лиственницы земного шара, эта порода изучена еще слабо. Вопросы видовой самостоятельности отдельных видов, их ареалов и лесоводственных свойств требуют уточнения и новых исследований. На основе проведенных исследований комплекса лесохозяйственных мероприятий предложены меры, направленные на рациональное использование, охрану и улучшение состояния древостоев. **Методы.** Для изучения лиственничных древостоев закладывали 5 пробных площадей. Исследование проводилось на основе материалов лесоустройства, имеющейся природоведческой литературы, научных работ, а также анализа хозяйственной деятельности лесничества, а именно лесопользования, лесокультурных, лесозащитных и других видов работ. Собранный экспериментальный материал был обработан методами лесной таксации и лесоводства. **Результаты.** В зависимости от условий местопроизрастания, состава насаждения и растительных условий выделены следующие типы леса: травяной, багульниковый, осоково-злаковый и осоковый лиственничники. Для травяных лиственничников наиболее приемлемым является проведение выборочных и постепенных двухприемных рубок. В багульниковых лиственничниках целесообразно проведение проходных рубок средней интенсивности (25 %) в зимний период со снижением полноты до 0,55–0,6. В осоково-злаковых лиственничниках нами предложены сплошнолесосечные рубки. Для молодых и средневозрастных древостоев целесообразно проведение рубок ухода для повышения плодоношения и снижения полноты. В осоковых лиственничниках требуется проведение мелиоративных работ, что может положительно повлиять на возобновление и увеличение продуктивности древостоев.

Ключевые слова: лиственничные леса, пробная площадь, состояние древостоев, травяные лиственничники, багульниковые лиственничники, осоково-злаковые лиственничники, осоковые лиственничники, выборочные рубки, постепенные двухприемные рубки, проходные рубки

Для цитирования: Острошенко Л. Ю., Ларьков А. И. Типы лиственничных лесов на территории Приморского края // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1277–1288. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1277-1288>.

Дата поступления статьи: 03.05.2024, **дата рецензирования:** 07.06.2024, **дата принятия:** 31.07.2024.

Types of larch forests on the territory of Primorsky Krai

L. Yu. Ostroshenko[✉], A. I. Larkov

Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriisk, Russia

[✉]E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to study larch forests on the territory of the Kovalerovsky district forestry of the Kovalerovskiy branch of the Primorsky Forestry, with the aim to suggest the complex of silvicultural measures. **Scientific novelty.** Larch forests are the most common forest formation. However, in the Far East, where a third of all larch species on the globe grow, this species is still poorly studied. The issues of species independence of individual species, their ranges and silvicultural properties require clarification and new research. On the basis

of the studies of the complex of forestry measures, measures aimed at the rational use, protection and improvement of the condition of forest stands are proposed. **Methods.** To study larch stands, 5 sample plots were laid. The study was carried out on the basis of forest inventory materials, available natural history literature, scientific works, as well as an analysis of the economic activities of the forestry, namely forest use, forest cultivation, forest protection and other types of work. The collected experimental material was processed by the methods of forest taxation and silviculture. **Results.** Depending on the conditions of the place of growth, the composition of the plantation and plant conditions, the following types of forest are distinguished: grass, ledum, sedge-grass and sedge larch forests. For grass larch forests, selective and gradual two-step felling are the most acceptable. In ledum larch forests, it is advisable to carry out passage felling of medium intensity (25 %) in winter with a decrease in fullness to 0.55–0.6. In sedge-grass larch forests, we have proposed clear-cutting. For young and middle-aged stands, it is advisable to carry out thinning to increase fruiting and reduce forest density. In sedge larch forests, reclamation work is required, which can have a positive effect on the renewal and increase in the productivity of forest stands.

Keywords: larch forests, sample plot, condition of forest stands, grass larch forests, ledum larch forests, sedge-grass larch forests, sedge larch forests, selective felling, gradual two-step felling, passage felling

For citation: Ostroshenko L. Yu., Larkov A. I. Types of larch forests on the territory of Primorsky Krai. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1277–1288. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1277-1288>.

Date of paper submission: 03.05.2024, **date of review:** 07.06.2024, **date of acceptance:** 31.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Лиственничные леса являются самой распространенной лесной формацией и составляют около 60 % всех лесов Дальнего Востока, где в Приморском крае они занимают площадь 952,4 тыс. га [1].

Лиственница является крупным деревом первой величины [2]. В благоприятных условиях место-произрастания достигает 25–35 м высоты и около 1 м в диаметре ствола [3]. Растет 300–400 лет, редко доживает до 800 лет [4]. Лиственница относится к светолюбивым и быстрорастущим породам [5], холодостойка, а также нетребовательна к почвенным условиям. Хорошо восстанавливается после пожаров [6]. Древесина твердая, прочная, упругая [7; 8], смолистая и очень стойкая против гниения. Она долговечна [9]. Чаще всего применяется в подводных и подземных сооружениях – при строительстве плотин, мостов, линий связи и электропередач, при деревянном судостроении, на изготовление железнодорожных шпал и т. д. [10; 11]. Лиственничные дрова – лучшие по калорийности и жаро-производительности. Лиственница содержит такие биологически активные вещества, как фенолы, полифенольные соединения, пектины [12].

Наряду со значительной промышленной ценностью лиственничные леса имеют большое защитное значение. Они выполняют различные почвозащитные, средообразующие, водорегулирующие и водоохранные функции, произрастая от крутых каменистых склонов близ верхней границы леса [13] до переувлажненных долин и свежих аллювиальных наносов рек [14; 15].

В последнее время внимание к лесному сектору экономики России со стороны руководства страны возросло. На заседании Президиума Государственного Совета 17 июня 2002 года была дана оценка состояния дел в лесном хозяйстве и лесной про-

мышленности. Поставлена задача в ближайшие 15 лет обеспечить резкий рост заготовки древесины и увеличение производства различных видов продукции ее глубокой переработки в 3–4 раза.

Поэтому перед органами управления лесным хозяйством должны стоять такие задачи, как усиление функций контроля над соблюдением правил пользования лесом, охрана лесов от пожаров, создание искусственных насаждений. При создании данных насаждений предпочтение необходимо отдавать быстрорастущим, ценным и неприхотливым породам. В этом отношении особое внимание необходимо уделить лиственнице.

Однако на Дальнем Востоке, где произрастает третья часть всех видов лиственницы земного шара, эта порода изучена ещё слабо. Вопросы видовой самостоятельности отдельных видов, их ареалов и лесоводственных свойств требуют уточнения и новых исследований.

Цель исследований – изучить лиственничные леса на территории Кавалеровского участкового лесничества Кавалеровского филиала КГУ «Приморское лесничество» с целью предложения в них комплекса лесохозяйственных мероприятий.

Данная тема очень актуальна, поскольку в связи с широким вовлечением лесов из лиственницы в хозяйственный оборот потребность в классификации типов леса и выработке на ее основе научно-обоснованных рекомендаций по ведению хозяйства в них становится все более настоятельной.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследований явилось Кавалеровское лесничество Приморского края. На территории лесничества выделяют бурые-таежные, буро-подзолисто-таежные и лугово-болотные почвы. Буро-таежные почвы характеризуются их маломощностью и большой каменистостью. На горных склонах мощ-

ность почв обычно не превышает 30–40 см, причем этот слой на 30–60 % состоит из обломков горных пород. Буро-таежные почвы характеризуются довольно разнообразным морфологическим строением профиля. Буро-таежные почвы делятся на буро-таежные иллювиально-гумусовые, буро-таежные охристые и буро-таежные глеево-оподзоленные.

Исследование проводилось на основе материалов лесоустройства, имеющейся природоведческой литературы, научных работ, а также анализа хозяйственной деятельности лесничества, а именно лесопользования, лесокультурных, лесозащитных и других видов работ.

С этой целью в различных условиях местопрорастания были заложены пробные площади. Собранный экспериментальный материал был обработан методами лесной таксации и лесоводства.

Прежде чем приступать к полевым работам, нами в лесничестве были выявлены массивы лиственничников, т. е. места, где они занимают большие площади. Для этого из таксационного описания были выбраны кварталы, в которых лиственница встречается наиболее часто. По планам лесонасаждений устанавливали их месторасположение. Всего нами были заложены 5 пробных площадей.

Результаты (Results)

Лиственничные леса, произрастающие на территории Кавалеровского лесничества, приурочены к западному склону горной системы Сихотэ-Алиня. Лиственничники произрастают на горных склонах разной экспозиции и крутизны, довольно часто встречаются также по долинам рек. Отмечено, что

большая часть лиственничников пройдена низовыми пожарами различной интенсивности, а также выборочными и сплошными рубками давностью 30–50 лет, что привело к их расстройству.

Лиственничники при возобновлении активно замещаются другими породами, что со временем может привести к смене формаций.

При описании типов леса основное внимание уделялось однородности растительности верхних и нижних ярусов, а также однородности топографических условий произрастания.

По территории Кавалеровского лесничества нами были заложены пять пробных площадей, на основании которых было выделено четыре типа леса.

Осоково-злаковый лиственничник

Насаждение данного типа леса относится к длинным лиственничникам и входит в группу влажных типов леса.

Осоково-злаковый лиственничник характеризует пп. №5-2023. Древостой произрастает на надпойменной террасе реки Зеркальная, заливаемой во время сильных паводков. Почвы мелкие, супесчаные, на слоистом песчано-галечном аллювии.

Древостой смешанный, низкополнотный, одноярусный, развивается по первому классу бонитета. Общий запас всех пород составляет 135,24 м³ на 1 га. В состав древостоя кроме лиственницы также входят кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai), береза белая (*Betula alba*) (таблица 1).

Таблица 1
Таксационная характеристика осоково-злаковых лиственничников на пп. № 5-2023

Номера пробных площадей	Ярус	Состав		Возраст главной породы	Сомкнутость крон	Число стволов на 1 га		Сумма площадей сечений, м ²	D ср, см	H ср, м	Бонитет	Общий запас, м ³	
		По запасу	По числу стволов			Лиственницы	Всех пород					Лиственницы	По запасу
5-2023	I	7Л2Е1Б6+К ед. Я, И	8Л1Е1Б6+К ед. Я, И	59	0,4	216	323	13,471	24,5	21	I	104,57	135,24

Table 1
Taxational characteristics of sedge-grass larch forests at sp № 5-2023

Numbers of sample plots	Tier	Composition		Age of the main species	Crown closure	Number of stems on 1 ha		Total area, m ²	Ave-rage dia-meter, cm	Ave-rage height, m	Bonitet	Total stock, m ³	
		By stock	By number of stems			Of larch	Of all species					Of larch	By stock
5-2023	I	7L2P1Bw+A unit. A,W	8L1P1Bw+A unit. A,W	59	0.4	216	323	13.471	24.5	21	I	104.57	135.24

Таблица 2

Состав естественного возобновления на пп. № 5-2023

Породы	Количество благонадежного подроста по породам и высотным группам, тыс. шт. на 1 га			
	Мелкий	Средний	Крупный	Итого
Ель корейская	0,3	1,1	3,4	4,8
Всего:	0,3	1,1	3,4	4,8

Table 2

Composition of natural regeneration at sp. № 5-2023 (in terms of 1 ha thousand units)

Species	The amount of reliable undergrowth by breeds and altitude groups, thousand units per 1 ha			
	Shallow	Average	Big	Total
Korean spruce	0.3	1.1	3.4	4.8
Total:	0.3	1.1	3.4	4.8

Агротехнологии



Рис. 1. Осоковый лиственничник на пп. № 1-2023
Fig. 1. Larch sedge forests at sp. No. 1-2023

Древостой средневозрастной. Подлесок густой, сильно развит, в окнах древостоя имеются непроходимые заросли. Подлесок многовидовой и представлен следующими видами: бересклет малоцветковый (*Euonymus pauciflora* Maxim.), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* (Pax.) Kom.), жимолость съедобная (*Lonicera edulis* Turcz.), рябинолистник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun), шиповник Максимовича (*Rosa maximowicziana* Regel), чубушник тонколиственный (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. & Maxim.). Редко встречаются малина сахалинская (*Rubus sachalinensis* Levi.) и элеутерококк колючий (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. & Maxim.) Maxim.).

Живой напочвенный покров средне развит, представлен большим числом видов. Общий фон создают различные виды злаков, осок и многие другие.

Естественное возобновление лиственницы под пологом леса отсутствует полностью, однако в достаточном количестве присутствует разновозрастный подрост ели корейской (таблица 2). Можно предполагать, что в будущем, возможно, данный лиственничник сменится одним из типов лесов из ели корейской.

Древостой расстроен выборочной рубкой. В данном древостое в 2001 году проводилась заготовка столбовой древесины. Изначально полнота древостоя до рубки, по данным лесоустройства, составляла 0,9. Древостой также сложен двумя видами лиственниц с преобладанием лиственницы Комарова (*Larix komarovii* Kolesn.).

Осоковый лиственничник

Осоковый лиственничник относится к геоморфологическому комплексу долинных лиственничников и входит в группу типов леса сырых лиственничников (рис. 1).

Данный тип леса представлен одной пробной площадью 1-2023. Древостой пробной площади произрастает в заболоченной части горного перевала (Венюковский) в его центральной части. Лиственница занимает большую часть заболоченной площади. Рельеф достаточно ровный, микрорельеф образуют средние по высоте осоковые кочки, до 20 см высоты, а также подушки сфагнума. Почва торфянистая глеевая. Ее толщина – до 50 см. Корневая система у деревьев лиственницы поверхностная.

Древостои представлены двумя ярусами. В первом ярусе растут кедр корейский, тополь дрожащий (*Populus tremuloides*), а также береза белая. Второй ярус представлен чистым лиственничником. Древостой развивается по IV классу бонитета, низкополнотный, с запасом древесины в 140,56 м³. Возраст древостоя составляет 102 года, средняя высота – 16,5 м (таблица 3).

Деревья лиственницы по площади распространены равномерно. У некоторых деревьев лиственницы стволы деревьев неправильно развиты. Кроны рыхлые, разреженные, неправильной формы.

Подлесок редкий и представлен тремя видами – рябинник рябинолистный, лещина разнолистная (*Corylus heterophylla* Fisch. ex Bess.) и лещина маньчжурская (*C. mandshurica* Maxim.). Данные виды не имеют сплошного распространения и по площади встречаются крайне редко – в основном на возвышенных местах, достигая в высоту 0,3–1,5 м.

Таксационная характеристика осокового лиственничника на пп. № 1-2023

Номера пробных площадей	Ярус	Состав		Возраст главной породы	Сомкнутость крон	Число стволов на 1 га		Сумма площадей сечений, м ²	D ср, см	H ср, м	Бонитет	Общий запас, м ³	
		По запасу	По числу стволов			Лиственницы	Всех пород					Лиственницы	По запасу
5-2023	I	5К3Б62Т	4Б64Т2Л	280	0,17			5,31	28,2	19,5	IV	140,56	191,2
	II	10Лц	10лц	102	0,75	800	1020	18,84	17,1	16,5			
	Σ	7Лц1Л1Б61Т	8Лц1Б61Т	280-102	0,92			24,52	-	-			

Table 3
Taxational characteristics of larch sedge forests at sp № 1-2023

Numbers of sample plots	Tier	Composition		Age of the main species	Crown closure	Number of stems on 1 ha		Total area, m ²	Average diameter, cm	Average height, m	Bonitet	Total stock, m ³	
		By stock	By number of stems			Of larch	Of all species					Of larch	By stock
5-2023	I	5A3 Bw2P	4Bw 4P2L	280	0.17			5.31	28.2	19.5	IV	140.56	191.2
	II	10L	10L	102	0.75	800	1020	18.84	17.1	16.5			
	Σ	7L1L 1Bw1P	8L 1Bw1P	280-102	0.92			24.52	-	-			

Травяной покров многовидовой, густо распространен по всему участку. Состоит из болотных и лесных видов трав и папоротников. Общий фон создают осоки (уссурийская (*Carex ussuriensis* Kom.), скрытоплодная (*C. lyngbyei* Hornem.), Шмидта (*C. schmidtii* Meinsch.), какалия ушастая (*Cacalia auriculata* DC.) и копьевидная (*Cacalia hastata* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.) и полевой (*E. arvense* L.), плектрантус вырезной (*Rabdosia excisa* (Maxim.), чистоуст коричный (*Osmunda cinnamomea*) и несколько видов кочедыжника (*Athyrium*).

Естественное возобновление лиственницы под пологом леса отсутствует полностью, однако в достаточном количестве имеется разновозрастный подрост ели корейской, кедра корейского, пихты белокорой (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), а также березы белой, дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) и др. (таблица 4).

Травяной лиственничник

Насаждение данного типа леса относится к геоморфологическому комплексу горных лиственничников и входит в группу свежих лиственничников.

Данный тип леса характеризует одну пробную площадь № 4-2023 (таблица 5).

Насаждение занимает верхнюю часть южного склона, крутизной 15°. Почва буро-таежная, мощная, каменистая, суглинистая, сильно задернован-

ная. Рельеф участка ровный и представляет собой выровненную часть склона крутизной 2°.

Древостой лиственничника чистый, с примесью как молодых, так и старых деревьев дуба монгольского, березы белой и осины (рис. 2). Древостой развивается по IV классу бонитета, среднеполнотный. Запас древостоя составляет 242,6 м³ на 1 га. Возраст по главной породе – 160 лет.

Древостой пройден неоднократным низовым пожаром. Кора на деревьях обгорела на высоте до 3 м. Много деревьев лиственницы повреждено морозобоинами.

Естественное возобновление в травяном лиственничнике слабое (таблица 6), преобладает ель корейская (рис. 2).

Однако сильно развитый травяной покров мешает развитию подроста, упавшие семена не достают до почвы и погибают. Подрост в основном сосредоточен в пониженных местах и там, где в результате пожаров произошла минерализация почвы.

Багульниковый лиственничник

Насаждение данного типа леса, как и предыдущего, относится к геоморфологическому комплексу лиственничников горных склонов, но входит в группу влажных лиственничников. Данный тип леса распространен преимущественно на нижних частях горных склонов различной экспозиции и крутизны (рис. 3).

Таблица 4
Состав естественного возобновления на пп № 1-2023

Породы	Количество благонадежного подроста по породам и высотным группам, тыс. шт. на 1 га			
	Мелкий	Средний	Крупный	Итого
Кедр корейский	1,0	–	–	1,0
Пихта белокорая	–	0,3	–	0,3
Ель аянская	0,2	0,4	0,2	0,8
Береза белая	–	0,2	0,4	0,6
Дуб монгольский	–	0,1	1,3	1,4
Ясень маньчжурский	–	–	0,2	0,2
Клен моно	0,1	–	0,1	0,2
Ива козья	–	0,2	0,2	0,4
Всего:	1,3	1,2	2,4	4,9

Table 4
Composition of natural regeneration at sp. № 1-2023

Species	Amount of reliable undergrowth by breeds and altitudinal groups, thousand units per 1 ha			
	Shallow	Average	Big	Total
Korean pine	1.0	–	–	1.0
Khingam fir	–	0.3	–	0.3
Ayan spruce	0.2	0.4	0.2	0.8
White birch	–	0.2	0.4	0.6
Mongolian oak	–	0.1	1.3	1.4
Manchurian ash	–	–	0.2	0.2
Maple mono	0.1	–	0.1	0.2
Goat willow	–	0.2	0.2	0.4
Total:	1.3	1.2	2.4	4.9



Рис. 2. Естественное возобновление ели корейской на пп. № 4-2023
Fig. 2. Natural renewal of Korean spruce at sp. No. 4-2023

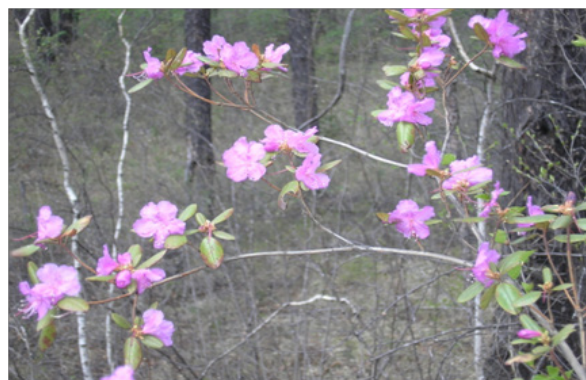


Рис. 3. Цветение багульника на пп. № 3-2023
Fig. 3. Flowering of rosemary at sp. No. 3-2023

Таблица 5
Таксационная характеристика травяного лиственничника на пп. № 4-2023

Номера пробных площадей	Ярус	Состав		Возраст главной породы	Сомкнутость крон	Число стволов на 1 га		Сумма площадей сечений, м ²	D _{ср.} , см	H _{ср.} , м	Бонитет	Общий запас, м ³	
		По запасу	По числу стволов			Лиственницы	Всех пород					Лиственницы	По запасу
4-2023	I	10Л+ Бб.Д ед. Ос	8Л1Бб 1Д ед. Ос	160	0,67	240	280	25,982	35,6	22,5	IV	221,2	242,6

Table 5
Taxational characteristics of grass larch forests at sp. No. 4-2023

Numbers of sample plots	Tier	Composition		Age of the main species	Crown closure	Number of stems on 1 ha		Total area, m ²	Average diameter, cm	Average height, m	Bonitet	Total stock, m ³	
		By stock	by number of stems			Of larch	Of all species					Of larch	By stock
4-2023	I	10L+ Ba.Q unit. P	8L1Bw 1Q unit. P	160	0.67	240	280	25.982	35.6	22.5	IV	221.2	242.6

Таблица 6
Состав естественного возобновления на пп. № 4-2023

Породы	Количество благонадежного подроста по породам и высотным группам, тыс. шт. на 1 га			
	Мелкий	Средний	Крупный	Итого
Лиственница	–	0,2	0,1	0,3
Пихта белокорая	0,2	0,1	0,1	0,4
Ель корейская	0,1	0,3	0,2	0,6
Всего:	0,3	0,6	0,4	1,3

Table 6
Composition of natural renewal at sp. No. 4-2023

Species	The amount of reliable undergrowth by species and altitude groups, thousand units per 1 ha			
	Shallow	Average	Big	Total
Larch	–	0.2	0.1	0.3
Khingam fir	0.2	0.1	0.1	0.4
Korean spruce	0.1	0.3	0.2	0.6
Total:	0.3	0.6	0.4	1.3

Эти типы леса характеризует две пп. (№ 2-2023 и № 3-2023), заложенные в Кавалеровском лесничестве возле реки Сухой ключ и поселка Высокогорск. Рельеф участков довольно ровный с небольшими микроповышениями. Почва мощная, буротаежная, влажная, среднеслабоскелетная, в нижней части участка сырая. Дренажность слабая.

Древостой одноярусный, чистый, с небольшой примесью березы маньчжурской (*Betula pendula subsp. mandshurica* (Regel)) и осины (*Populus tremula* L.). Развивается древостой по II классу бонитета, высокополнотный, возраст составляет по среднему модельному дереву пп. № 2-2023 71 год, общий запас – 217,42 м³, на пп. № 3 – 59 лет; общий запас – 205 м³ на 1 га (таблица 7).

Подлесок среднеразвит, средней густоты, по площади встречается рассеянно, равномерно. В состав подлеска входят багульник крупнолистный (*Ledum macrophyllum* Tolm.), рододендрон остроколючный (*Rhododendron thymifolium* Turcz.) и ольха (*Alnus* Mill.).

Из других видов встречаются рябинник рябинолистный, карагана уссурийская (*Caragana usuriensis* (Rgl.) Pojark.), жимолость съедобная, лещина разнолистная и бересклет священный (*Euonymus sacrosanctus*). Из всех видов кустарников наиболее распространен багульник.

Таблица 7
Таксационная характеристика багульниковых лиственничников на пп. № 2-2023 и 3-2023

Номера пробных площадей	Ярус	Состав		Возраст главной породы	Сомкнутость крон	Число стволов на 1 га		Сумма площадей сечений, м ²	D _{ср.} , см	H _{ср.} , м	Бонитет	Общий запас, м ³	
		По запасу	По числу стволов			Лиственницы	Всех пород					Лиственницы	По запасу
2-2023	I	9Лц 1Бб	9Лц1Бб	71	0,76	400	444	24,58	28,5	18,6	II	217,42	232,2
3-2023	I	8Лц 1Бб1Т	8Лц1Т Бб	59	0,8	420	510	24,08	27,0	16,8	II	205	234,58

Table 7
Taxational characteristics of ledum larch forests at sp. No. 2-2023 and 3-2023

Numbers of sample plots	Tier	Composition		Age of the main species	Crown closure	Number of stems on 1 ha		Total area, m ²	Average diameter, cm	Average height, m	Bonitet	Total stock, m ³	
		By stock	By number of stems			Of larch	Of all species					Of larch	By stock
2-2023	I	9L 1Bw	9L1Bw	71	0.76	400	444	24.58	28.5	18.6	II	217.42	232.2
3-2023	I	8L 1Bw 1P	8L1P Bw	59	0.8	420	510	24.08	27.0	16.8	II	205	234.58

Травяной покров многовидовой, развит средне. Наибольшее распространение получили земляника восточная (*Fragaria orientalis* Losinsk.), вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii* (Link) Trin.), папоротник орляк (*Pteridium aquilinum*), чина приземистая (*Lathyrus humilis* (Ser.) Fisch. ex Spreng.), вика мышиная (*Vicia cracca* L.) и осока уссурийская.

Моховой покров развит слабо, встречается в виде отдельных пятен в пониженных участках.

Естественное возобновление происходит хорошо, подрост многовидовой с преобладанием в составе хвойных пород. Лиственница возобновляется слабо. Общее количество подроста – 3500 шт. на 1 га (таблица 8).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

За последние десять лет лиственничные леса в Кавалеровском лесничестве в связи с ухудшением экономической обстановки в стране и из-за своей доступности являлись объектами интенсивной лесозаготовки, что привело к тому, что в настоящее время большинство древостоев пройдено выборочными рубками в спелых и перестойных насаждениях. В результате этих рубок в первую очередь из древостоев вырубались лучшие деревья с оставлением на корню отставших в росте и фауных деревьев, что отрицательно сказалось на качестве оставшей-

ся части. Это привело к сокращению площади леса в Кавалеровском лесничестве на 26,8 %. В связи с общим уменьшением площадей лиственничных лесов Кавалеровского лесничества в результате рубок нами была предпринята попытка разработки и предложения мер лесохозяйственных мероприятий, которые направлены на сохранение, увеличение запаса и улучшение качественного состояния.

В настоящее время разработка всех лесохозяйственных мероприятий должна основываться на учениях о типах леса.

Таким образом, в процессе исследований нами выделено четыре типа лиственничников: травяные, багульниковые, осоково-злаковые и осоковые.

Травяные лиственничники в условиях Кавалеровского лесничества произрастают в верхних и средних частях горных склонов преимущественно южной экспозиции. Древостои среднеполнотные, развиваются по IV классу бонитета. Имеют запас 243 м³ на 1 га. Лесопромышленная ценность травяных лиственничников для данных условий произрастания достаточно высокая.

Хозяйственное значение их заключается в склонно-защитной и водорегулирующей роли, что свидетельствует о высокой степени проявления ими водоохраной и защитной роли.

Состав естественного возобновления на пп. №2-2023 и № 3-2023

Номер пробной площадки	Породы	Количество благонадежного подроста по породам и высотным группам, тыс. шт. на 1 га			
		Мелкий	Средний	Крупный	Итого
2-2023	Лиственница	0,3	0,4	1,2	1,9
	Кедр корейский	0,8	0,3	–	1,1
	Ель корейская	–	0,6	–	0,6
	Ильм долинный	0,3	0,1	–	0,4
	Береза белая	0,1	–	1,0	1,1
	Дуб монгольский	–	0,2	–	0,2
	Ясень маньчжурский	–	–	0,3	0,3
Ольха волосистая	–	–	0,4	0,4	
Итого		1,5	1,6	2,9	6,0
3-2023	Лиственница	0,4	0,4	0,8	1,6
	Кедр корейский	–	0,3	–	0,3
	Ель корейская	0,3	0,2	–	0,5
	Пихта белокорая	0,3	–	–	0,3
	Береза белая	–	–	0,3	0,3
Дуб монгольский	–	0,3	0,3	0,6	
Итого		1,0	1,2	1,4	3,6

Table 8

Composition of natural renewal at sp. No. 2-2023 and No. 3-2023

Numbers of sample plots	Species	The amount of reliable undergrowth by species and altitude groups, thousand units per 1 ha			
		Shallow	Average	Big	Total
2-2023	Larch	0.3	0.4	1.2	1.9
	Korean pine	0.8	0.3	–	1.1
	Korean spruce	–	0.6	–	0.6
	Ilm valley	0.3	0.1	–	0.4
	White birch	0.1	–	1.0	1.1
	Mongolian oak Manchurian ash	–	0.2	–	0.2
	Hairy alder	–	–	0.3	0.3
Total		1.5	1.6	2.9	6.0
3-2023	Larch	0.4	0.4	0.8	1.6
	Korean pine	–	0.3	–	0.3
	Korean spruce	0.3	0.2	–	0.5
	Khingam fir	0.3	–	–	0.3
	White birch	–	–	0.3	0.3
Mongolian oak	–	0.3	0.3	0.6	
Total		1.0	1.2	1.4	3.6

Из-за высокой продуктивности этих лиственничников, запаса древесины наиболее целесообразным является проведение выборочных и постепенных двухприемных рубок. Сплошнолесосечные рубки не допускаются из-за высокого проявления данным типом леса защитной роли, т. к. он относится к лесам защитно-промышленного значения. При проведении выборочных рубок необходимо в первый прием вырубать в первую очередь фаузные деревья всех пород и особо крупные деревья лиственницы со снижением полноты до 0,5–0,6 и интенсивностью рубки не выше 30 %. При проведении постепенных двухприемных рубок в первую очередь необходимо вырубать всю примесь лиственных пород, а также крупные деревья лиственницы. При этом интенсивность не должна превышать 30–35 %. Допускается снижение полноты не

ниже 0,5–0,45. Повторяемость через 7 лет. Рубку следует приурочивать к семенным годам или проводить за год до них. При куртинном расположении подроста лиственницы целесообразно проведение группово-выборочных рубок.

Данный лиственничник 5-2023 нуждается в проведении постепенных двухприемных рубок с обязательным последующим проектированием противопожарных мероприятий.

Багульниковые лиственничники в условиях Кавалеровского лесничества произрастают на среднекрутых и пологих склонах северной и близких экспозиций, преимущественно в нижних частях. Багульниковый лиственничник – самый распространенный тип леса на территории Кавалеровского лесничества. На его долю приходится около 60 % лиственничников. Они обладают довольно высокой

продуктивностью спелой древесины и могут достигать 205–217 м³ на га, развиваясь по II классу бонитета.

Данные насаждения обладают высокой степенью лесопромышленной ценности. Тем не менее хозяйственное значение их невелико из-за малой встречаемости. Но за счет наличия запасов спелой древесины они являются объектами лесопромышленных работ, которые проводятся в зимнее время.

Багульниковые лиственничники проявляют среднюю степень защитных свойств, выполняя водорегулирующую, склоно- и почвозащитную функции.

Возобновление под пологом среднее. На состояние естественного возобновления оказывает негативное влияние высокая сомкнутость древостоя.

Из-за высокой продуктивности этих лиственничников запас древесины может достигать значительных величин. В связи с этим здесь необходимо проведение выборочных рубок с выборкой в первый прием фауных деревьев всех пород, а также особо крупных деревьев лиственницы. Снижение полноты не должно опускаться ниже 0,5–0,6, интенсивность не должна превышать 30 %.

Для данного типа леса (пп. 3-2023) мы предлагаем проведение проходных рубок средней интенсивности (25 %) в зимний период со снижением полноты до 0,55–0,6 для повышения плодоношения и снижения полноты с проектированием последующих противопожарных мероприятий.

Осоково-злаковые лиственничники относятся к долинным влажным лиственничникам. Встречаются они, как правило, на приречных террасах различных уровней. Данные типы леса обладают высокой продуктивностью спелой древесины, в которых запас может достигать 135 м³ на 1 га. Развиваются они по I классу бонитета, достигая высоких полнот.

Древостои данных типов леса обладают очень высокой степенью лесопромышленной ценности, так как дают наибольший выход деловой древесины и доступны для эксплуатации. Кроме того, выполняемые ими водоохранные, почво- и берегозащитные функции указывают на их большую ценность и как защитных насаждений.

Естественное возобновление происходит достаточно успешно, но из общего количества подроста встречаемость лиственницы незначительна или полностью отсутствует.

В данных типах леса возможно проведение сплошнолесосечных рубок. Их необходимо выполнять способами, обеспечивающими сохранение подроста. В том случае, если количество подроста мало и его недостаточно для возобновления древостоя, необходимо оставлять на лесосеке семенные куртины до 0,1 га или группы деревьев 10–15 шт. для возобновления.

Для молодых и средневозрастных древостоев мы предлагаем проведение рубок ухода для повышения плодоношения и снижения полноты с проектированием предварительных и последующих мер содействия естественному возобновлению. Рубки ухода следует приурочивать к семенным годам или проводить за год до них.

Осоковые лиственничники относятся к коренным типам леса. Благодаря высокой экологической пластичности лиственница способна удерживать за собой такие участки при благоприятных условиях в течение длительного времени. Данный тип леса создан исключительно лиственницей Комарова.

Производительность осоковых лиственничников в условиях Кавалеровского лесничества IV класса бонитета. Продуктивность древостоев невысокая и не доходит до 150 м³. Возобновление здесь полностью отсутствует, что связано с частыми пожарами разной интенсивности, которые уничтожают подрост и обладают слабой семенной продуктивностью.

Осоковые лиственничники выполняют почвоосушительные и почвоулучшающие функции. Хозяйственное значение осоковых лиственничников заключается в их водорегулирующей роли. Они регулируют процессы торфообразования и заболачивания. Кроме того, лиственница является практически единственной породой в данных условиях, которая способна создавать древостои, переводя заболоченные участки в категорию лесных и лесопокрываемых площадей. Данный тип леса в перспективе может дать положительные результаты при проведении в них мелиоративных работ, что может положительно повлиять на возобновление и увеличение продуктивности древостоев. Кроме того, из-за частых повреждений данных лиственничников лесными пожарами, которые негативно влияют на санитарное состояние древостоев и уничтожают подрост, необходимо более серьезно относиться к охране от пожаров, а также ликвидировать полное отсутствие противопожарных мероприятий.

Библиографический список

1. Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды, животного мира и природных ресурсов Приморского края. Правительство Приморского края [Электронный ресурс]. URL: <https://primorsky.ru/upload/medialibrary/205/rsnbnfq16fc46i9gguw6ezd35kxbw10k.pdf> (дата обращения: 29.04.2024).
2. Vozmishcheva A. S., Bondarchuk S. N., Gromyko M. N., Kislov D. E., Pimenova E. A., Salo M. A., & Korznikov K. A. Strong disturbance impact of tropical cyclone Lionrock (2016) on Korean pine-broadleaved

forest in the Middle Sikhote-Alin Mountain Range, Russian Far East // *Forests*. 2019. Vol. 10, Iss. 11. Article number 1017. DOI: 10.3390/f10111017.

3. Малиновская В. В. Морфологические и биологические особенности лиственницы даурской и их влияние на таксационные показатели в ГКУ Амурской области «Шимановское лесничество» // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2023. № 5-4 (80). С. 19–22. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-5-4-19-22.

4. Захарова Д., Богачкина А. Исследование состояния дендрофлоры сквера музея народного творчества, как ООПТ Пензенской области // *Культура и экология как важные факторы успешного развития общества: материалы научно-общественной конференции*. Пенза, 2018. С. 86–104.

5. Кирина И. Б., Попова И. Н. Хвойные породы в ландшафтном дизайне городов [Электронный ресурс] // *Наука и образование*. 2021. Т. 4, № 4. URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4134/4119> (дата обращения: 30.04.2024).

6. Miyamoto Y., Danilov A. V., Bryanin S. V. The dominance of *Suillus* species in ectomycorrhizal fungal communities on *Larix gmelinii* in a post-fire forest in the Russian Far East // *Mycorrhiza*. 2021. Vol. 31, No. 1. Pp. 55–66. DOI: 10.1007/s00572-020-01004-3.

7. Валеев И. Э., Геворгян Г. А. Анализ используемых материалов для изготовления литейной оснастки // *Инновационные технологии в литейном производстве: сборник трудов Международной научно-технической конференции*. Москва, 2019. С. 238–243.

8. Самусева Л. В. Пороки и защита древесины. Гомель: БелГУТ, 2019. 101 с.

9. Корешков Н. В., Царева Е. А. Перспективы применения лиственницы при лесовосстановлении и лесоразведении // *Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. Москва, 2022. С. 317–320.

10. Амяга Е. Н., Нифонтов С. В., Гриднев А. Н., Макрушин Н. М. Подбор ядерных микросателлитных локусов для видовой идентификации лиственницы даурской (Гмелина) и лиственницы сибирской, а также сравнение их генетических профилей для решения задач лесного хозяйства // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019. № 132. С. 72–79.

11. Газеев М. В., Чернышев О. Н. Практика получения первичных профессиональных умений и навыков по деревообработке. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2021. 103 с.

12. Chertov N., Vasilyeva Y., Zhulanov A., Nechaeva Y., Boronnikova S., Kalendar R. Genetic structure and geographical differentiation of *Larix sibirica* ledeb // *Forests*. 2021. Vol. 12, Iss. 10. Article number 1401. DOI: 10.3390/f12101401.

13. Выводцев Н. В., Ли Ч., Колесник И. С., Андреев Е. Э. Продукционные характеристики хвойных пород Приохотья // *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы международной научно-практической конференции*. Хабаровск, 2018. С. 39–42.

14. Салтыков А. В., Балыкин С. Н., Пузанов А. В. Ландшафтно-геохимическое обследование РП-511 для обеспечения пуска РКН из состава КРК «Амур» с космодрома «Восточный» // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2020. № 1 (56). С. 78–95. DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15608.

15. Румянцев Д. Е., Липаткин В. А., Загреева А. Б. Основы геоботаники [Электронный ресурс]. URL: <http://scipro.ru/conf/geobotany1023.pdf> (дата обращения: 30.04.2024).

Об авторах:

Людмила Юрьевна Острошенко, кандидат биологических наук, доцент, Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Россия; ORCID 0000-0002-5379-556X, AuthorID 790945. E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

Антон Игоревич Ларьков, обучающийся института лесного и лесопаркового хозяйства, Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск, Россия; ORCID 0009-0002-2923-8285, AuthorID 1248304. E-mail: larik4420@mail.ru

References

1. Ministry of Forestry, Environmental Protection, Wildlife and Natural Resources of Primorsky Krai. The Government of Primorsky Krai [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 29]. Available from: <https://primorsky.ru/upload/medialibrary/205/rsnbnfq16fc46i9gguw6ezd35kxbw10k.pdf>. (In Russ.)

2. Vozmishcheva A. S., Bondarchuk S. N., Gromyko M. N., Kislov D. E., Pimenova E. A., Salo M. A., & Korznikov K. A. Strong disturbance impact of tropical cyclone Lionrock (2016) on Korean pine-broadleaved forest in the Middle Sikhote-Alin Mountain Range, Russian far east. *Forests*, 2019; 10 (11): 1017. DOI: 10.3390/f10111017.

3. Malinovskaya V. V. Morphological and biological features of Dahurian larch and their influence on assessment indicators in the state institution «Shimanovsk forestry» of Amur region. *International Journal of Natural and Human Sciences*. 2023; 5-4 (80): 19–22. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-5-4-19-22. (In Russ.)
4. Zakharova D., Bogachkina A. The research of condition of dendroflora of the square of the museum of folk art, as a protected area of the Penza region. *Culture and Ecology as Important Factors of Successful Development of Society: materials of the scientific and public conference*. Penza, 2018. Pp. 86–104 (In Russ.)
5. Kirina I. B., Popova I. N. Conifers in urban landscape design. *Science and Education*. 2021; 4-4 [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 29]. Available from: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4134/4119>. (In Russ.)
6. Miyamoto Y., Danilov A. V., Bryanin S. V. The dominance of Suillus species in ectomycorrhizal fungal communities on Larix gmelinii in a post-fire forest in the Russian Far East. *Mycorrhiza*, 2021; 31 (1): 55–66. DOI: 10.1007/s00572-020-01004-3.
7. Valeev I. E., Gevorgyan G. A. Analysis of materials used for the manufacture of casting equipment. *Innovative technologies in foundry: proceedings of the international scientific and technical conference*. Moscow, 2019. Pp. 238–243. (In Russ.)
8. Samuseva L. V. Defects and protection of wood. Gomel: BelGUT, 2019. 101 p. (In Russ.)
9. Korkeshkov N. V., Tsareva E. A. The application prospects for larch in regeneration and afforestation. *Scientific Basis for Sustainable Forest Management: proceedings of the all-Russian scientific conference with international participation*. Moscow, 2022. Pp. 317–320. (In Russ.)
10. Amyaga E. N., Nifontov S. V., Gridnev A. N., Makrushin N. M. Selection of nuclear microsatellite loci for species identification of Dahurian larch (Gmelin) and siberian larch, as well as comparison of their genetic profiles for solving forestry problems. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2019; 132: 72–79. (In Russ.)
11. Gazeev M. V., Chernyshev O. N. Practice of obtaining primary professional skills and abilities in woodworking. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2021. 103 p. (In Russ.)
12. Chertov N., Vasilyeva Y., Zhulanov A., Nechaeva Y., Boronnikova S., Kalendar R. Genetic structure and geographical differentiation of Larix sibirica ledeb. *Forests*. 2021; 12 (10): 1401. DOI: 10.3390/f12101401.
13. Vyvodtsev N. V., Li Ch., Kolesnik I. S., Andreev E. E. Production characteristics of coniferous species of the Okhotsk region. *Philosophy of Modern Nature Management in the Amur River Basin: proceedings of the international scientific and practical conference*. Khabarovsk, 2018. 39–42. (In Russ.)
14. Saltykov A. V., Balykin S. N., Puzanov A. V. Landscape and geochemical survey of IZ-511 to ensure launching space rockets from SRC “Amur” with Vostochny spaceport. *Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society*. 2020; 1 (56). 78–95. DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15608. (In Russ.)
15. Rumyantsev D. E., Lipatkin V. A., Zagreeva A. B. Fundamentals of Geobotany [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 29]. Available from: <http://scipro.ru/conf/geobotany1023.pdf>. (In Russ.)

Authors' information:

Lyudmila Yu. Ostroshenko, candidate of biological sciences, associate professor, Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriisk, Russia; ORCID 0000-0002-5379-556X, AuthorID 790945.

E-mail: OstroshenkoV@mail.ru

Anton I. Larkov, student of the Institute of Forestry and Forest Park Management, Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriisk, Russia; ORCID 0009-0002-2923-8285, AuthorID 1248304.

E-mail: larik4420@mail.ru

Уровень качества зерна и дифференциация образцов озимой ржи по адаптивной способности в Северо-Западном федеральном округе

И. В. Сафонова[✉], Н. И. Аниськов

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

[✉]E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Аннотация. Среди всех зерновых культур, возделываемых в Северо-Западном регионе РФ, очень мало внимания уделяется ржи, которая приспособлена к ряду неблагоприятных факторов. **Цель** настоящей работы на этом этапе изучения состоит в выявлении адаптивных к условиям региона конкурентоспособных сортов ржи с высоким содержанием белка в зерне для обеспечения производства продуктов питания, полноценных кормов и для технических целей. **Методы.** Предметом исследования были девять образцов озимой диплоидной ржи (*S. cereale L. var. vulgare Koern.*). Стандартом служил сорт Эра. С целью получения объективной оценки адаптивности были рассчитаны следующие показатели: устойчивость индекса стабильности, индекс стабильности, диапазон содержания белка, коэффициент стрессоустойчивости, уровень стабильности, гомеостатичность, параметр селекционной ценности, коэффициент экологической пластичности, показатель стабильности, критерий стабильности, фактор стабильности, генотипический эффект, индекс экологической пластичности, коэффициент вариации. **Результаты.** Сравнительный анализ использования вышеперечисленных показателей позволил сделать вывод, что с целью выявления объективной характеристики приспособленных возможностей образцов нужно использовать ряд показателей: индекс стабильности, коэффициент стрессоустойчивости, показатель уровня стабильности, селекционную ценность, показатель стабильности, фактор стабильности, индекс экологической пластичности. **Научная новизна** заключается в сравнительной оценке образцов ржи по качеству зерна и выявлении наиболее высокобелковых. Высокий уровень белка был сформирован в 2022 г. сортами Московская 18 (13,7 %), Новосибирская 17 (13,6 %), Сударушка (13,6 %), Флора (13,7 %), Графиня (13,1 %). По средним показателям за период изучения большая степень содержания белка была выявлена у образцов Таловская 45, Новосибирская 17, Сударушка, Эра. Расчеты, использованные нами, установили, что наибольший уровень стабильности, пластичности и адаптивности по содержанию качества зерна присущ сортам ржи Таловская 45, Московская 18, Сударушка, Саратовская 10.

Ключевые слова: озимая рожь, качество зерна, стабильности, гомеостатичность, селекционную ценность, показатель стабильности, фактор стабильности, индекс экологической пластичности

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Для цитирования: Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Уровень качества зерна и дифференциация образцов озимой ржи по адаптивной способности в Северо-Западном федеральном округе // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1289–1301. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1289-1301>.

Дата поступления статьи: 22.01.2024, **дата рецензирования:** 11.06.2024, **дата принятия:** 24.07.2024.

Grain quality level and differentiation of winter rye samples by adaptive capacity in the Northwestern federal district

I. V. Safonova[✉], N. I. Aniskov

Federal Research Center “All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov”, Saint Petersburg, Russia

[✉]E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Агротехнологии

Abstract. Among all the grain crops cultivated in the Northwestern region of the Russian Federation, very little attention is paid to rye, which is adapted to a number of adverse factors. **The purpose** of this work – at this stage of the study is to identify competitive rye varieties with a high protein content in grain, adaptive to the conditions of the region, to ensure the production of food, full-fledged feed and for technical purposes. **Methods.** The subject of the study were nine samples of winter diploid rye (*S. cereale L. var. vulgare Koern.*). The standard was the Era variety. In order to obtain an objective assessment of adaptability, the following indicators were calculated: stability index stability, stability index, range of protein content, stress resistance coefficient, stability level, homeostaticity, parameter of breeding value, coefficient of ecological plasticity, stability indicator, criterion of stability, stability factor, genotypic effect, index of ecological plasticity. **Results.** A comparative analysis of the use of the above indicators allowed us to conclude that in order to identify an objective characteristic of the adapted capabilities of the samples, a number of indicators should be used: stability index, stress resistance coefficient, stability level indicator, breeding value, stability indicator, stability factor, index of environmental plasticity. The **scientific novelty** lies in the comparative evaluation of rye samples by grain quality and the identification of the most high-protein ones. The high protein level was formed in 2022 by the following varieties: Moskovskaya 18 (13.7 %), Novosibirskaya 17 (13.6 %), Sudarushka (13.6 %), Flora (13.7 %), Grafinya (13.1 %). According to the average indicators for the study period, a high degree of protein content was detected in the samples: Talovskaya 45, Novosibirskaya 17, Sudarushka, Era. The calculations used by us have established that the highest level of stability, plasticity and adaptability in terms of grain quality content is inherent in rye varieties: Talovskaya 45, Moskovskaya 18, Sudarushka, Saratovskaya 10.

Keywords: winter rye, grain quality, stability, homeostaticity, selection value, stability index, stability factor, ecological plasticity index

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment according to the thematic plan of VIR FGEM-2022-0009 “Structuring and revealing the potential of hereditary variability of the world collection of grain and cereal crops of VIR for the development of an optimized gene bank and rational use in breeding and plant growing.”

For citation: Safonova I. V., Aniskov N. I. Grain quality level and differentiation of winter rye samples by adaptive capacity in the Northwestern Federal district. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1289–1301. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1289-1301>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.01.2024, **date of review:** 11.06.2024, **date of acceptance:** 24.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В увеличении производства зерновой продукции в Северо-Западном регионе огромную роль играет озимая рожь. При этом нужно отметить, что устойчивое производство зерна в большинстве случаев зависит от создания, подбора и внедрения хорошо адаптированных к местным условиям сортов ржи [1]. Проблема содержания белка в зерне – это одна из основных наряду с продуктивностью, для чего нужно объективно использовать потенциал сортов. При этом следует иметь в виду, что при получении продукции с высоким уровнем белка в зерне зна-

чительную роль играют погодные условия ареала возделывания [2; 3]. Внедрение сортов озимой ржи с достаточно высоким содержанием белка является одним из основных направлений. При оценке сортов на приспособленность к условиям возделывания необходимо учитывать уровень экологической стабильности и пластичности [4–7]. Экологическая устойчивость сорта – важнейшее условие реализации его ценных свойств в изменяющихся условиях внешней среды. Сорта в большинстве случаев отличаются по диапазону адаптивности: они способны иметь относительно «широкую» и «узкую» эко-

гическую адаптивность [8; 9]. Поэтому использование адаптивных сортов с высоким качеством будет способствовать расширению производства и рынка сбыта. При этом нужно обратить внимание, что в зерне в зависимости от региона возделывания и сорта содержание белка варьирует от 9,0 до 17,0 % [10–12]. При минимуме затрат сорт обязан сформировать максимум прироста уровня содержания белка в зерне. Это произойдет лишь в том случае, если сорта будут обладать высоким уровнем адаптивности различного рода биотических и абиотических факторов [13; 14]. Озимая рожь – культура, наиболее приспособленная для выращивания в регионах со сложными природно-климатическими условиями. Кроме высокой устойчивости к вымерзанию (способна выдерживать на глубине узла кущения $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$), она может расти на малоплодородных землях, засухоустойчива, очищает поля от сорных растений, защищает почву от эрозии, улучшает ее структуру [15].

В связи с этим, цель исследования на этом этапе изучения состоит в выявлении адаптивных к условиям региона конкурентоспособных сортов ржи с высоким содержанием белка в зерне для обеспечения производства продуктов питания, полноценных кормов и для технических целей.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые опыты были проведены с 2019 по 2022 годы на полях экспериментальной базы ВИР, находящихся в г. Пушкине (Санкт-Петербург). Предметом изучения являлись 9 сортов озимой ржи различного происхождения. Стандартом служил районированный для Северо-Западного региона сорт Эра (к-11640) (Ленинградская область). Образцы Графиня (к-11893), Кипрез (к-11894), Флора (к-11895) (Кировская область), Московская 18 (к-11896) (Московская область), Таловская 45 (к-11897) (Воронежская область), Саратовская 10 (к-11890) (Саратовская область), Новосибирская 17 (к-11892) (Новосибирская область), Сударушка (к-11891) (Томская область) относятся к озимой диплоидной ржи (*S. cereale L. var. vulgare Koern.*). Почвы опытного участка хорошо окультуренные, дерново-подзолистые. Чистый пар – предшественник. В летний период под посев озимой ржи для борьбы с сорной растительностью проводилась послонная обработка поля дисковыми культиваторами. За 3–4 недели до посева вносили минеральные удобрения (NPK) на глубину 5–6 см. В Северо-Западном регионе сроки посева озимой ржи – с 25 августа по 5 сентября. Изучаемые образцы были высеваны в эти же оптимальные сроки с помощью селекционной сеялки ССФК-7 из расчета 400 всхожих зерен на 1 м^2 , площадь делянки – $10,0\text{ м}^2$, повторность двукратная. Осенью появились дружные всходы, полевая всхожесть изучаемых образцов составила 85–

90 %. Весной после схода снега посевы подкармливали полным минеральным удобрением (NPK). Проводили рыхление и прополку делянок вручную. За период вегетации отмечались следующие фазы развития: всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение, созревание. Уборку производили в фазу полной спелости вручную серпом. Фенологические наблюдения за ростом и развитием ржи проводились по методическим рекомендациям по сохранению и изучению мировой коллекции ржи ВИР [16]. Для выявления уровня адаптивности сорта мы употребляли следующие способы расчета: устойчивость индекса стабильности сорта (Y) вычисляли по уже известной формуле:

$$Y = \left(1 - \frac{IC_{\text{опт.}} - IC_{\text{лим.}}}{IC_{\text{среднее}}}\right) \times 100, \quad (1)$$

где Y – параметр устойчивости стабильности;

$IC_{\text{среднее}}$, $IC_{\text{опт.}}$, $IC_{\text{лим.}}$ – индексы стабильности сортов при средних, оптимальных и лимитированных условиях соответственно.

$$IC - \text{индекс стабильности } (IC_{\text{опт.}}, IC_{\text{лим.}}, IC_{\text{среднее}}):$$

$$IC = \bar{x}^2 / S, \quad (2)$$

где \bar{x}^2 – средняя величина в конкретных условиях;
 S – отклонение среднеквадратичное.

Одним из рассмотренных адаптационных параметров образцов в разных климатических условиях был диапазон содержания белка, который определяется по формуле:

$$d = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{Y_{\text{max}}} \times 100, \quad (3)$$

где $Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}$ – белок максимальный и минимальный;

d – размах содержания белка;

А. А. Быков предложил формулу для вычисления стрессоустойчивости:

$$K_{\text{ст.}} = \frac{\sum Y_{\text{min}}}{n} / \frac{\sum Y_{\text{max}}}{m}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ст.}}$ – стрессоустойчивость;

$\sum Y_{\text{min}}$ – количество минимального белка, %;

$\sum Y_{\text{max}}$ – количество максимального белка, %;

n – число лет с белком менее среднемноголетнего показателя;

m – число лет с белком более среднемноголетнего показателя [17].

При оценке стабильности сорта применяли показатель уровня стабильности сорта ($\Pi_{\text{усс.}}$).

$$\Pi_{\text{усс.}} = \bar{x}_1 \times L, \quad (5)$$

где \bar{x}_1 – среднее количество белка, %;

L – индекс стабильности, выражается в % к стандарту

В. В. Хангильдиным установлено, что стабильными являются сорта, у которых показатель гомеостатичности более высокий:

$$\text{Hom} = \frac{\bar{x}^2}{\delta \times (x_{\text{опт.}} - x_{\text{лим.}})}, \quad (6)$$

$$Sc_1 = \bar{x} \times \frac{x_{lim}}{x_{opt}}, \quad (7)$$

где \bar{x} – количество белка за ряд лет;
 x_{lim} и x_{opt} – количество белка на лимитированном и оптимальном фоне соответственно;
 δ – среднее квадратическое отклонение [18].

Определение селекционной ценности мы применяли формулу в трактовке Н. А. Орлянского:

$$Sc_2 = \bar{x}^2 \times \frac{x_{lim}}{x_{opt}}, \quad (8)$$

где \bar{x}^2 – среднее арифметическое значение показателя за годы изучения;

x_{lim} и x_{opt} – значение показателя на оптимальном и лимитированном фоне соответственно;
 δ – среднее квадратическое отклонение [19].

Коэффициент экологической пластичности вычисляли по формуле:

$$O = \frac{\bar{M}}{\sigma}, \quad (9)$$

где O – экологическая пластичность,
 \bar{M} – значение показателя за годы испытания,
 σ – среднее квадратическое отклонение.

Критерий стабильности (A) и показатель относительной стабильности (St^2) и вычисляли по Н. А. Соболеву:

$$St^2 = \frac{x^2 - S^2}{x^2}, \quad (10)$$

$$A = \sqrt{x^2 - S^2}, \quad (11)$$

где x^2 – среднее содержание белка;
 S^2 – общая дисперсия белка [20].

Таблица 1

Влагообеспеченность и температурный режим в период весенне-летней вегетации сортов озимой ржи (2019–2022 гг.)

Показатели	Май	Июнь	Июль	Август
2019 год				
Среднесуточная температура, °С	12,1	18,7	16,6	17,0
Количество влаги, мм	73	23	93	4,9
2020 год				
Среднесуточная температура, °С	10,0	19,1	17,6	17,2
Количество влаги, мм	25	66	94	104
2021 год				
Среднесуточная температура, °С	12,1	21,4	23,1	16,9
Количество влаги, мм	139,4	22,1	50,3	135,1
2022 год				
Среднесуточная температура, °С	10,0	17,6	19,9	20,6
Количество влаги, мм	25,6	47	75,7	112,6
Среднегоголетние данные				
Среднесуточная температура, °С	11,3	15,7	18,8	16,9
Количество влаги, мм	46	71	79	83

*Table 1
 Moisture availability and temperature regime during the spring-summer vegetation of winter rye varieties (2019–2022)*

Indicators	May	June	July	August
2019				
Average daily temperature, °C	12.1	18.7	16.6	17.0
Amount of moisture, mm	73	23	93	4.9
2020				
Average daily temperature, °C	10.0	19.1	17.6	17.2
Amount of moisture, mm	25	66	94	104
2021				
Average daily temperature, °C	12.1	21.4	23.1	16.9
Amount of moisture, mm	139.4	22.1	50.3	135.1
2022				
Average daily temperature, °C	10.0	17.6	19.9	20.6
Amount of moisture, mm	25.6	47	75.7	112.6
Long-term average data				
Average daily temperature, °C	11.3	15.7	18.8	16.9
Amount of moisture, mm	46	71	79	83

Фактор стабильности $S.F.$ рассчитывали по формуле:

$$S.F. = \frac{\bar{x} H.E.}{\bar{x} L.E.}, \quad (12)$$

где $\bar{x} H.E.$ – величина параметра в высокопродуктивной среде;

$\bar{x} L.E.$ – величина в низкопродуктивной среде.

Для определения генотипического эффекта ε_i использовали формулу:

$$\varepsilon_i = xi - \bar{x}, \quad (13)$$

где xi – среднее содержание белка в зерне по годам испытания;

\bar{x} – среднее содержание белка в опыте.

А. А. Грязнов рекомендует для оценки сортов использовать индекс экологической пластичности – И.Э.П.:

$$И.Э.П. = \frac{УС}{СУО}, \quad (14)$$

где И.Э.П. – экологическая пластичность;

УС – сбор белка;

СУО – средний сбор белка [21].

Б. А. Доспехов вычисляет коэффициент вариации CV по формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{y}} \times 100, \quad (15)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

\bar{y} – среднее значение признака [22].

Годы исследований (2019–2022 гг.) значительно различались по погодным условиям (таблица 1).

В 2019 году средняя температура за весенне-летний период вегетации была немного выше среднелетнего, в то же время проявляется недостаток в июне и августе. Это привело к пониженному формированию белка в зерне. В 2020 году температура была высокой в июне, июле, августе. Недостаток осадков был отмечен в мае, июне, что сказалось на уровне белка. В 2021 году повышенная температура была замечена в июне, июле наряду с небольшим уровнем осадков. В 2022 году высокая температура была характерна для июня, июля, августа избыток осадков в мае и августе. Поэтому в 2022 году было высокое содержание белка в зерне.

Таблица 2

Уровень белка в зерне и параметры его ранжирования (2019–2022 гг.)

№ п/п	Название сорта (каталог ВИР)	Содержание белка, %						Σ рангов	Место сорта
		2019	2020	2021	2022	Среднее	I_j сорта		
1	Графиня	10,4	10,8	10,6	13,1	11,2	-0,5	27	5
2	Кипрез	10,7	10,1	10,5	13,3	11,2	-0,5	28	6
3	Флора	9,6	9,5	9,3	12,2	10,1	-1,6	38	7
4	Московская 18	11,4	11,7	12,4	13,7	12,3		13	2
5	Таловская 45	12,6	12,7	13,0	12,3	12,7	+0,6	12	1
6	Саратовская 10	8,9	10,3	13,1	12,7	11,3	+1,0	27	5
7	Новосибирская 17	12,4	10,8	13,0	13,6	12,5	-0,4	13	2
8	Сударушка	11,5	11,4	11,8	13,6	12,1	+0,8	17	3
9	Эра (стандарт)	12,6	11,6	9,0	12,8	11,7	+0,4	22	4
	Σ Y_i	100,1	98,9	103,6	117,3	104,2	–	–	–
	Среднее Y_i	11,1	11,0	11,5	13,0	11,7	–	–	–
	I_j	-0,6	-0,5	-0,2	+1,3	0	–	–	–

Table 2

The protein level in grain and the ranking parameters for this (2019–2022)

No.	The name of the variety (VIR catalog)	Protein content, %						Σ ranks	Place of the variety
		2019	2020	2021	2022	Average	I_j varieties		
1	Grafinya	10.4	10.8	10.6	13.1	11.2	-0.5	27	5
2	Kiprez	10.7	10.1	10.5	13.3	11.2	-0.5	28	6
3	Flora	9.6	9.5	9.3	12.2	10.1	-1.6	38	7
4	Moskovskaya 18	11.4	11.7	12.4	13.7	12.3		13	2
5	Talovskaya 45	12.6	12.7	13.0	12.3	12.7	+0.6	12	1
6	Saratovskaya 10	8.9	10.3	13.1	12.7	11.3	+1.0	27	5
7	Novosibirskaya 17	12.4	10.8	13.0	13.6	12.5	-0.4	13	2
8	Sudarushka	11.5	11.4	11.8	13.6	12.1	+0.8	17	3
9	Era (standard)	12.6	11.6	9.0	12.8	11.7	+0.4	22	4
	Σ Y_i	100.1	98.9	103.6	117.3	104.2	–	–	–
	Average Y_i	11.1	11.0	11.5	13.0	11.7	–	–	–
	I_j	-0.6	-0.5	-0.2	+1.3	0	–	–	–

Таблица 3
Дисперсионный анализ по признаку «содержание белка в зерне» сортов озимой ржи

Источник колебания	Часть изменчивости фактора, %	Количество степеней свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$
Фактор А (сорт)	15,7	8	23,3	3,0	2,3
Фактор В (условия)	18,7	3	27,7	11,0	5,0
Общее	100	35	67,6	–	–
Случайные отклонения	–	–	–	–	–

Table 3
Dispersion analysis based on the protein content in grain of winter rye varieties

The source of the oscillation	Part of the variability of the factor	Number of degrees of freedom	Variance	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{theor.}}$
Factor A (grade)	15.7	8	23.3	3.0	2.3
Factor B (conditions)	18.7	3	27.7	11.0	5.0
General	100	35	67.6	–	–
Random deviations	–	–	–	–	–

Таблица 4
Содержание белка в зерне и стабильность сортов озимой ржи (2019–2022 гг.)

Величина белка, %, и уровень стабильности	Сорта озимой ржи								
	Графиня	Кипрез	Флора	Московская 18	Таловская 45	Саратовская 10	Новосибирская 17	Сударушка	Эра (стандарт)
\bar{X} среднее	11,2	11,2	10,1	12,3	12,7	11,3	12,5	12,1	11,7
ИС _{лимит.}	6,6	4,8	5,1	10,8	9,5	2,2	7,7	10,7	5,1
ИС _{оптим.}	8,3	6,3	6,7	13,0	9,9	3,3	9,7	12,8	7,3
ИС _{среднее}	7,1	5,3	3,7	11,7	9,6	2,8	8,9	11,4	6,7
Y, %	23,9**	28,3**	43,2*	18,8***	4,2***	39,0*	22,5**	18,4**	32,8*

Примечание. * высокостабильные ** стабильные; *** нестабильные.

Table 4
Protein content in grain and stability of winter rye varieties (2019–2022)

Protein value, %, and stability level	Varieties of winter rye								
	Gratinya	Kiprez	Flora	Moskovskaya 18	Talovskaya 45	Saratovskaya 10	Novosibirskaya 17	Sudarushka	Era (standard)
\bar{X} average	11.2	11.2	10.1	12.3	12.7	11.3	12.5	12.1	11.7
SI_{limit}	6.6	4.8	5.1	10.8	9.5	2.2	7.7	10.7	5.1
SI_{optim}	8.3	6.3	6.7	13.0	9.9	3.3	9.7	12.8	7.3
SI_{average}	7.1	5.3	3.7	11.7	9.6	2.8	8.9	11.4	6.7
Y, %	23.9**	28.3**	43.2*	18.8***	4.2***	39.0*	22.5**	18.4**	32.8*

Note. * high stable; ** stable; *** unstable.

Результаты (Results)

Количество содержания белка в зерне озимой ржи показало, что у исследуемых сортов за годы изучения (2019–2022) самый высокий уровень белка был получен в условиях 2022 года, самые низкие показатели по белку отмечены в 2020 году (таблица 2). В 2022 году отмечено высокое содержание белка у сортов Московская 18 (13,7 %), Новосибирская 17 (13,6 %), Сударушка (13,6 %), Флора (13,7 %), Графиня (13,1 %). В 2020 году сформировали высокий уровень белка сорта Таловская 45 (12,7 %), Московская 18 (11,7 %), Эра (11,6 %), Сударушка (11,4 %). В среднем за годы изучения по этому признаку выделились Таловская 45, Новосибирская 17, Сударушка, Эра.

На первом этапе при определении приспособленности сорта рекомендуется по данным источника варьирования выявить наличие связи сорт – условия (таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что факторы «сорт», «условия», а также $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ указывает на то, что сорта по-разному отзываются на изменение условий возделывания. В связи с этим мы имеем право перейти

к дальнейшему анализу оценки величины экологической адаптивности.

Один из показателей стабильности образца – это индекс стабильности (ИС). Чем больше его уровень, тем он более пригоден для данных условий произрастания. Он был более высоким у сортов Московская 18, Сударушка, Таловская 45, Новосибирская 17, Графиня и составил соответственно 11,6; 11,4; 9,6; 8,9; 7,1 (таблица 4).

По параметру устойчивости индекса стабильности (Y) распределение происходит на **высоко-стабильные**: Флора ($Y = 43,2$); Саратовская 10 ($Y = 39,0$); Эра ($Y = 32,8$); **стабильные**: Кипрез ($Y = 28,3$); Графиня ($Y = 23,9$); Новосибирская 17 ($Y = 22,5$); **нестабильные**: Московская 18 ($Y = 18,8$); Сударушка ($Y = 18,4$); Таловская 45 ($Y = 4,2$).

В экологическом изучении необходимо использовать такой показатель, как диапазон содержания белка (d): чем он выше, тем меньше стабильность содержания белка в зерне. Высокий уровень данного показателя был отмечен у сортов Саратовская 10, Эра, Флора, Кипрез. Небольшой уровень колебаний отмечен у сортов Таловская 45, Сударушка, Новосибирская 17, Московская 18 (таблица 5).

Таблица 5
Уровень белка, его диапазон и реализация потенциала, ранг сорта (2019–2022 гг.)

Сорт	Содержание белка в зерне			Ранг (d)	Ранг ($d, \%$)
	Предел (min–max)	Средняя (\bar{x})	Отклонение от средней данной совокупности сортов		
Графиня	10,4–13,1	11,2	–0,48	2,7/4	20,6/5
Кипрез	10,1–13,3	11,2	–0,48	3,2/7	21,8/6
Флора	9,3–12,2	10,1	–1,6	2,9/6	23,7/7
Московская 18	11,4–13,7	12,3	+0,6	2,3/3	16,7/2
Таловская 45	12,6–13,0	12,7	+1,02	0,4/1	3,1/1
Саратовская 10	8,9–13,1	11,3	–0,4	5,0/9	32,1/9
Новосибирская 17	10,8–13,6	12,5	+0,8	2,8/5	20,5/3
Сударушка	11,4–13,6	12,1	+0,4	2,2/2	16,9/3
Эра (стандарт)	9,0–12,8	11,7	0	3,8/8	29,6/8
Среднее	10,4–13,2	11,7	–	–	–
Сумма	93,9–118,4	105,1	–	–	–

Table 5
Protein level, its range and potential realization, grade rank (2019–2022)

Variety	The protein content of the grain			Rank (d)	Rank ($d, \%$)
	Limit (min–max)	Average (\bar{x})	Deviation from the average of this set of varieties		
Графиня	10.4–13.1	11.2	–0.48	2.7/4	20.6/5
Кипрез	10.1–13.3	11.2	–0.48	3.2/7	21.8/6
Flora	9.3–12.2	10.1	–1.6	2.9/6	23.7/7
Moskovskaya 18	11.4–13.7	12.3	+0.6	2.3/3	16.7/2
Talovskaya 45	12.6–13.0	12.7	+1.02	0.4/1	3.1/1
Saratovskaya 10	8.9–13.1	11.3	–0.4	5.0/9	32.1/9
Novosibirskaya 17	10.8–13.6	12.5	+0.8	2.8/5	20.5/3
Sudarushka	11.4–13.6	12.1	+0.4	2.2/2	16.9/3
Era (standard)	9.0–12.8	11.7	0	3.8/8	29.6/8
Average	10.4–13.2	11.7	–	–	–
The amount	93.9–118.4	105.1	–	–	–

Таблица 6

Уровень стрессоустойчивости, приспособленности, гомеостатичности, селекционной ценности, стабильности (2019–2022 гг.)

Агротехнологии

Показатели адаптивности	Сорта озимой ржи								
	Графиня	Кипрез	Флора	Московская 18	Таловская 45	Саратовская 10	Новосибирская 17	Сударушка	Эра (стандарт)
$K_{ст.}$	0,80	0,78	0,73	0,96	0,96	0,74	0,87	0,85	0,81
$P_{усс}$	96,4	72,2	96,34	175,6	149,9	38,9	131,7	167,8	100
Hom	29,6	18,5	19,3	61,7	305,5	7,65	39,8	58,7	20,6
Sc_1	8,9	85	7,7	10,2	12,3	7,7	9,9	10,1	8,2
Sc_2	99,1	165,0	77,5	125,6	154,8	85,6	123,4	123,0	95,8
O	7,1	5,3	5,5	11,7	9,6	2,8	8,9	11,4	6,7
St^2	0,987	0,983	0,982	0,993	0,992	0,969	0,991	0,993	0,989
A	11,1	11,2	10,0	12,3	12,6	11,1	12,4	12,1	11,6
$S.F.$	1,26	1,32	1,31	1,20	1,03	1,47	1,26	1,19	1,42
ϵ_i	-0,5	-0,5	-1,6	+0,6	+1,0	-0,4	+0,8	+0,4	0
И.Э.П.	0,957	0,957	0,863	1,05	1,08	0,966	1,07	1,03	1,0
CV	13,4	18,1	18,0	8,97	11,2	34,1	12,4	9,08	14,2

Примечание. Hom – показатель гомеостатичности; Sc_1 – селекционная ценность (по В. В. Хангильдину); Sc_2 – селекционная ценность (по Н. А. Орлянскому); $K_{ст.}$ – коэффициент стрессоустойчивости; $P_{усс}$ – показатель уровня стабильности сорта, O – коэффициент экологической пластичности; St^2 – показатель относительной стабильности; A – критерий стабильности; $S.F.$ – фактор стабильности; ϵ_i – генотипический эффект; И.Э.П. – индекс экологической пластичности; CV – коэффициент вариации.

Table 6

The level of stress resistance, fitness, homeostaticity, breeding value, stability (2019–2022)

Adaptability indicators	Varieties of winter rye								
	Графиня	Кипрез	Flora	Moskovskaya 18	Talovskaya 45	Saratovskaya 10	Novosibirskaya 17	Sudarushka	Era (standard)
$K_{st.}$	0.80	0.78	0.73	0.96	0.96	0.74	0.87	0.85	0.81
P_{uss}	96.4	72.2	96.34	175.6	149.9	38.9	131.7	167.8	100
Hom	29.6	18.5	19.3	61.7	305.5	7.65	39.8	58.7	20.6
Sc_1	8.9	85	7.7	10.2	12.3	7.7	9.9	10.1	8.2
Sc_2	99.1	165.0	77.5	125.6	154.8	85.6	123.4	123.0	95.8
O	7.1	5.3	5.5	11.7	9.6	2.8	8.9	11.4	6.7
St^2	0.987	0.983	0.982	0.993	0.992	0.969	0.991	0.993	0.989
A	11.1	11.2	10.0	12.3	12.6	11.1	12.4	12.1	11.6
$S.F.$	1.26	1.32	1.31	1.20	1.03	1.47	1.26	1.19	1.42
ϵ_i	-0.5	-0.5	-1.6	+0.6	+1.0	-0.4	+0.8	+0.4	0
I.E.P.	0.957	0.957	0.863	1.05	1.08	0.966	1.07	1.03	1.0
CV	13.4	18.1	18.0	8.97	11.2	34.1	12.4	9.08	14.2

Note. Hom – indicator of homeostaticity; Sc_1 – breeding value according (according to V. V. Khangildin); Sc_2 – breeding value according (according to N. A. Orlyanskiy); $K_{st.}$ – stress resistance coefficient; P_{uss} – indicator of the level of stability of the variety, O – coefficient of ecological plasticity; St^2 – indicator of relative stability; A – stability criterion; $S.F.$ – stability factor according; ϵ_i – genotypic effect; I.E.P. – index of ecological plasticity; CV – coefficient of variation.

А. А. Быков полагает, что устойчивость к стрессу ($K_{ст.}$) – это комплекс показателей, дающих возможность сорту переносить короткое или продолжительное воздействие неблагоприятных условий выращивания. Для выявления величины этого параметра он предлагает применять реакцию сортов в неблагоприятных и благоприятных условиях. Чем реакция больше, тем более высокое содержание белка в зерне будет образовывать генотип. К сортам, имеющим высокий уровень устойчивости к стрессу ($K_{ст.} = 0,96...0,80$), отнесены Графиня, Таловская 45, Новосибирская 17, Сударушка (таблица 6)

$P_{уц}$ – показатель уровня стабильности сорта – способен определять стабильность уровня белка, но в то же время дает характеристику его способности реагировать как на улучшение условий возделывания, так и на ухудшение формировать содержание белка на достаточно высоком уровне.

Из таблицы 6 видно, что параметр $P_{уц}$ в нашем изучении варьировал от 72,2 % у сорта Кипрез, до 175,6 % у сорта Московская 18. По этому критерию выделились следующие сорта из изучения: Московская 18, Таловская 45, Сударушка, Новосибирская 17.

Ном – гомеостатичность, или способность сорта приводить к минимуму результаты последствия неблагоприятных воздействий внешней среды, определяется устойчивостью признака в разных условиях. Этот параметр варьировал от 7,65 до 305,5. Высокий уровень гомеостатичности характерен для сортов Таловская 45 (305,5), Московская 18 (61,7), Сударушка (58,7), Новосибирская 17 (39,8).

Sc_1 – анализ показателя селекционной ценности генотипа, основанный на сравнении содержания белка в неблагоприятных и благоприятных условиях внешней среды относительно среднего белка в зерне. Высокий уровень селекционной ценности присущ сортам Таловская 45, Московская 18, Сударушка, Новосибирская 17 ($Sc_1 = 12,3; 10,2; 10,1; 9,9$ соответственно). Для выявления образцов, имеющих высокое содержание белка и приспособленность, применяли формулу для определения селекционной ценности сорта (Sc_2). Проведенный нами анализ результатов изучения показал, что весь набор сортов в нашем опыте делится на две группы: **1-я группа** (с высокими параметрами адаптивности) – это сорта Кипрез ($Sc_2 = 165,0$); Таловская 45 ($Sc_2 = 154,8$); Московская 18 ($Sc_2 = 125,6$); Новосибирская 17 ($Sc_2 = 123,4$); Сударушка ($Sc_2 = 123,0$); **2-я группа** (с меньшим уровнем адаптивности, $Sc_2 = 77,5...99,1$): Графиня, Эра, Саратовская 10, Флора.

Для выявления уровня пластичности рекомендует применять показатель пластичности (O), который может анализировать реакцию сорта и его отношение к внешней среде. Чем больше числовое значение параметра пластичности, тем чаще сорт будет формировать высокое содержание белка в зерне. В нашем изучении более пластичными по выше-

указанному показателю стали сорта Московская 18, Сударушка, Таловская 45, Новосибирская 17, Графиня ($O = 11,7; 11,4; 9,6; 8,9; 7,1$ соответственно). Они отличаются устойчивым ростом белка. Несколько меньше этот показатель ($O = 6,7; 5,5; 5,3$) – у сортов Эра, Кипрез, Флора соответственно. Более низкая величина индекса адаптивности (2,8) была выявлена у сорта Саратовская 10.

Для расчета уровня стабильности признака (S^2) используют его среднюю величину в противоположных средах и постоянство его образования, в связи с этим они считаются интегральными величинами, которые одновременно дают оценку уровня признака и его стабильности. Более высокая устойчивость была выявлена у сортов Московская 18, Сударушка, Таловская 45, Новосибирская 17 ($S^2 = 0,993; 0,993; 0,992; 0,991$ соответственно). Низкая оценка ($S^2 = 0,969...0,89$) отмечена у сортов Эра, Графиня, Кипрез, Флора, Саратовская 10.

Следующий параметр – критерий стабильности (A). С его увеличением становится выше уровень стабильности, что и было отмечено у сортов Таловская 45 (12,6), Новосибирская 17 (12,4), Московская 18 (12,3), Сударушка (12,1).

Рассчитать адаптивную реакцию сорта на влияние эколого-географической среды нужно на основе деления значения признака в оптимальных условиях выращивания на величину параметра признака в неблагоприятных климатических условиях: чем больше величина фактора стабильности ($S.F.$), тем меньшую стабильность имеют сорта, и наоборот. В нашем изучении малая устойчивость характерна сортам Саратовская 10 ($S.F. = 1,47$), Эра ($S.F. = 1,42$), Кипрез ($S.F. = 1,32$), Флора ($S.F. = 1,31$), Новосибирская 17 ($S.F. = 1,26$), Графиня ($S.F. = 1,26$). Высокий уровень стабильности отмечен у сортов Таловская 45, Сударушка и Московская 18 ($S.F. = 1,03...1,20$).

Для определения адаптивной способности сорта возможно использовать величину генотипического эффекта (ϵ_i). Большая степень его проявления характеризуется положительными показателями. Для сортов с низкой адаптационной способностью характерны нулевые и отрицательные значения. Мы выделили сорта, у которых есть высокий эффект генотипа: Таловская 45, Новосибирская 17, Московская 18, Сударушка ($\epsilon_i = 1,0...0,4$). Остальные сорта отнесены нами в группу с низким эффектом генотипа.

В наше время часто для выявления степени пластичности используют индекс экологической пластичности (И.Э.П.). По нашим данным, более высокий уровень имели сорта, которые выделены в группу пластичных: Таловская 45, Новосибирская 17, Московская 18 и Сударушка: (И.Э.П. = 1,08; 1,07; 1,05; 1,03 соответственно). Сорта Саратовская 10, Графиня, Кипрез, Флора с низкой величиной этого параметра (И.Э.П. = от 0,86 до 0,96) следует использовать для выращивания в неблагоприятных условиях возделывания.

Таблица 7
 Ранжирование сортов озимой ржи по параметрам приспособленности
 (стабильности, пластичности, гомеостатичности) (2019–2022 гг.)

Показатели приспособленности	Сорта озимой ржи								
	Графиня	Кипрез	Флора	Московская 18	Таловская 45	Саратовская 10	Новосибирская 17	Сударушка	Эра
Y	5	4	1	7	9	2	6	8	3
ИС	5	7	8	1	3	9	4	2	6
d	5	6	7	2	1	9	3	3	8
$K_{ст}$	6	7	9	1	2	8	3	4	5
$P_{усс}$	6	8	7	1	3	9	4	2	5
Hom	5	8	7	2	1	9	4	3	6
Sc_1	5	6	8	2	1	8	4	3	7
Sc_2	7	1	9	3	2	8	4	5	6
O	5	8	7	1	3	9	4	2	6
St^2	5	6	7	1	2	8	3	1	4
A	7	6	8	3	1	7	2	4	5
$S.F.$	4	6	5	3	1	8	4	2	7
ε_i	7	7	8	3	1	6	2	4	5
И.Э.П.	7	7	8	3	1	6	2	4	5
CV	5	8	7	1	3	9	4	2	6
Сумма ранга	84	95	106	36	34	115	53	49	86
Место сорта	5	7	8	2	1	9	4	3	6

Table 7
 Rank of winter rye varieties by fitness parameters (stability, plasticity, homeostaticity) (2019–2022)

Fitness indicators	Varieties of winter rye								
	Графиня	Кипрез	Флора	Московская 18	Таловская 45	Саратовская 10	Новосибирская 17	Сударушка	Эра standard
Y	5	4	1	7	9	2	6	8	3
SI	5	7	8	1	3	9	4	2	6
d	5	6	7	2	1	9	3	3	8
K_{st}	6	7	9	1	2	8	3	4	5
P_{uss}	6	8	7	1	3	9	4	2	5
Hom	5	8	7	2	1	9	4	3	6
Sc_1	5	6	8	2	1	8	4	3	7
Sc_2	7	1	9	3	2	8	4	5	6
O	5	8	7	1	3	9	4	2	6
St^2	5	6	7	1	2	8	3	1	4
A	7	6	8	3	1	7	2	4	5
$S.F.$	4	6	5	3	1	8	4	2	7
ε_i	7	7	8	3	1	6	2	4	5
I.E.P.	7	7	8	3	1	6	2	4	5
CV	5	8	7	1	3	9	4	2	6
The amount of the rank	84	95	106	36	34	115	53	49	86
Place of the variety	5	7	8	2	1	9	4	3	6

Коэффициент вариации (CV) нередко используется для определения величины изменчивости: при $CV \leq 10\%$ – незначительная; при $10\% \leq CV \leq 20\%$ – средняя; при $CV \geq 20\%$ – высокая. Слабая изменчивость в нашем изучении была присуща сортам Московская 18, Сударушка ($CV = 8,97; 9,08$). Средняя вариабельность была свойственна сортам Таловская 45 ($CV = 11,2$), Новосибирская 17 ($CV = 12,4$), Графиня ($CV = 13,4$), Эра ($CV = 14,3$), Флора ($CV = 18,0$), Кипрез ($CV = 18,1$). Высокая изменчивость у сорта Саратовская 10 ($CV = 34,1$).

Применение большого количества методов вычисления уровня адаптивности может дать противоположные результаты, нивелировать которые возможно используя метод ранжирования. Согласно результатам использованных оценок, большей адаптационной приспособленностью обладают сорта Таловская 45, Московская 18, Сударушка, Новосибирская 17 (таблица 7).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На основании селекционной работы, которая выполнялась с 2019 по 2022 годы, в условиях Северо-Западного региона условия произрастания варьировали. В среднем за годы изучения массовая доля белка в зерне озимой ржи составляла 11,7%. Максимальный уровень белка характерен у сортов Таловская 45 (12,7%), Новосибирская 17 (12,5%), Сударушка (12,1%). Для получения высокой белковости более оптимальные условия были отмечены в 2022 году (13,0%), при индексе условий $I_j = 1,3$. Из 9 изученных сортов озимой ржи были выделены высокобелковые и адаптивные сорта: Таловская 45, Московская 18, Сударушка, Саратовская 10, которые могут быть рекомендованы для использования в селекционном процессе.

Библиографический список

1. Шляхтина Е. А. Адаптивный потенциал сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 192–199.
2. Тимина М. А., Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Исходный материал для селекции озимой ржи в условиях Красноярского края // Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Красноярск, 2022. С. 28–32. DOI: 10.52686/978560452502928.
3. Децына А. А., Илларионова И. В., Щербинина В. О. Расчет параметров экологической пластичности и стабильности масличных сортов подсолнечника селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2020. Вып. 3 (183). С. 31–38.
4. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный Вестник Урала. 2019. № 4. С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158.
5. Стасюк А. И., Леонова И. Н., Пономарева М. Л., Василова Н. З., Шаманин В. П., Салина Е. А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobology.2021.1.78rus.
6. Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Широколова А. В. [и др.] Экологическая оценка стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов сортосмены // Известия ТСХА. 2020. Вып. 3. С. 142–149. DOI: 10.26897/0021-342X-2020-3-142-149.
7. Фатыхов И. Ш., Исламова Ч. М., Колесникова Е. Ю. Экологическая пластичность и стабильность сортов яровой пшеницы на госсортоучастках Удмуртской республики // Вестник БГАУ. 2020. № 1. С. 44–50. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-53-1-44-50.
8. Зайцева О. А., Бельченко С. А., Дронов А. В. [и др.] Сравнительная оценка зерновой продуктивности и адаптивности сортов сои в агроклиматических условиях Брянской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4. С. 40–48. DOI: 10.24412/2309-348x-2022-4-40-48.
9. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А. [и др.] Эколого-адаптивная характеристика сортов озимой ржи по признакам качества зерна. // Теория и практика адаптивной селекции растений: сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Краснодар, 2021. С. 14–21.
10. Набатова Н. А., Уткина Е. И., Парфенова Е. С. [и др.] Сравнительная оценка сортов озимой ржи по экологической устойчивости в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 5. С. 655–665. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665.
11. Кожухова Е. В. Адаптивные показатели элементов продуктивности образцов гороха с разной длиной стебля // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7. С. 103–110. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-103-110.
12. Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Результаты оценки адаптивных показателей признаков «урожайность» и «число падения» сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Зерновое хозяйство. 2020. № 3. С. 38–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42.

13. Потапова Г. Н., Галимова К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004.
14. Парфенов Е. С., Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Псарева Е. А. Экологическая пластичность и стабильность сортов озимой ржи по регенерационной способности и урожайности в Кировской области // Владимирский земледелец. 2019. № 1. С. 39–43. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10053.
15. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. Т. 3. С. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
16. Кобылянский В. Д., Сафонова И. В., Солодухина О. В., Аниськов Н. И. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ржи. Санкт-Петербург: ВИР, 2015. 44 с.
17. Быков А. В. Морфо-биологические особенности и агроклиматический потенциал урожайности сортов *Beta vulgaris*. var. *conditinaalef* в Западной Сибири // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. Вып. 7, часть 2. С. 59–62. DOI: 10.23670/IRJ.2017.61.020.
18. Хангильдин В. В., Бирюкова С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // В. В. Хангильдин, С. В. Бирюкова // Генетико-цитологические аспекты в селекции с.-х. растений. 1984. № 1. С. 67–76.
19. Орлянский Н. А., Орлянская Н. А. Оценка результатов экологического испытания гибридов кукурузы с использованием селекционных индексов. // Кукуруза и сорго. 2016. № 2. С. 4–5.
20. Соболев Н. А. Методика экологической стабильности сортов и генотипов // Проблемы отбора и оценки селекционного материала: сборник научных трудов. Киев, 1980. С. 100–106.
21. Грязнов А. А. Карабалыкский ячмень. Кустанай: Печатный двор, 1996. 446 с.
22. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перепечатанное с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2014. 351 с.

Об авторах:

Ирина Владимировна Сафонова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608.

E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Николай Иванович Аниськов, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-7819-8286, AuthorID 260589.

E-mail: n.aniskov@vir.nw.ru

References

1. Shlyakhtina E. A. Adaptive potential of winter rye varieties under conditions of Kirov region. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022; 1 (29): 192–199. (In Russ.)
2. Timina M. A., Kobylansky V. D., Solodukhina O. V. D., Solodukhina O. V. Source material for selection of winter rye in the conditions of the Krasnoyarsk region. The role of agrarian science in ensuring food security: *Proceedings of the All-Russian Conference with international participation. Krasnoyarsk*. 2022; 28–32. DOI: 10.52686/978560452502928. (In Russ.)
3. Detsyna A. A., Illarionova I. V., Shcherbinina V. O. Calculation of parameters of ecological plasticity and stability of oilseed sunflower varieties of VNIIMK selection. *Oilseed Crops*. 2020; 3 (183): 31–38. (In Russ.)
4. Manukyan I. R., Basieva M. A., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Assessment of ecological plasticity of winter wheat varieties in the conditions of the Piedmont zone of the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 4: 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158. (In Russ.)
5. Stasyuk A. I., Leonova I. N., Ponomareva M. L., Vasilova N. Z., Shamanin V. P., Salina E. A. Phenotypic variability of breeding lines of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) on elements of yield structure in environmental conditions of Western Siberia and Tatarstan. *Agricultural Biology*. 2021; 56 (1): 78–91. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.1.78rus. (In Russ.)
6. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolova A. B., et al. Ecological assessment of stability and plasticity of spring soft wheat varieties of different periods of varietal change. *Izvestiya TSKhA*. 2020; 3:142–149. DOI: 10.26897/0021-342X-2020-3-142-149. (In Russ.)
7. Fatykhov I. Sh., Islamova Ch. M., Kolesnikova E. Yu. Ecological plasticity and stability of spring wheat varieties at the state export sites of the Udmurt Republic. *Bulletin of the BGAU*. 2020; 1: 44–50. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-53-1-44-50. (In Russ.)

8. Zaytseva O. A., Belchenko S. A., Dronov A. V., et al. Comparative assessment of grain productivity and adaptability of soybean varieties in agro-climatic conditions of the Bryansk region. *Grain Legumes and Cereals*. 2020; 4: 40–48. DOI: 10.24412/2309-348x-2022-4-40-48. (In Russ.)
9. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., et al. Ecological and adaptive characteristics of winter rye varieties based on grain quality. *Theory and Practice of Adaptive Plant Breeding: Collection of Scientific Papers of the International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, 2021. Pp. 14–21. (In Russ.)
10. Nabatova N. A., Utkina E. I., Parfenova E. S., et al. Comparative assessment of winter rye varieties on environmental sustainability in the conditions of the Kirov region. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2022; 23 (5): 655–665. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665. (In Russ.)
11. Kozhukhova E. V. Adaptive indicators of productivity elements of pea samples with different stem lengths. *Bulletin of KrasGAU*. 2023; 7: 103–110. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-103-110. (In Russ.)
12. Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. The estimation results of the adaptive indicators of the traits “productivity” and “a falling number” of the winter rye varieties in the Kirov region. *Grain Economy of Russia*. 2020; 3: 38–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-38-42. (In Russ.)
13. Potapova G. N., Galimova K. A., Zobnina N. L. Productivity and adaptability of winter rye varieties in the Middle Urals. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020; 34 (10): 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004. (In Russ.)
14. Parfenov E. S., Utkina E. I., Kedrova L. I., Psareva E. A. Ecological plasticity and stability of winter rye varieties by regenerative capacity and yield in the Kirov region. *Vladimir Agricolist*. 2019; 1: 39–43. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10053. (In Russ.)
15. Volkova L. V., Schennikova I. N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive reactions of grain crops. *Theoretical and Applied Ecology*. 2020; 3: 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146. (In Russ.)
16. Kobylansky V. D., Safonova I. V., Solodukhina O. V., Anis'kov N. I. Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of rye. Saint Petersburg: VIR, 2015; 44 p. (In Russ.)
17. Bykov A. V. Morpho-biological features and agro-climatic yield potential of Beta vulgarisi. var. conditionalef varieties in Western Siberia. *International Scientific Research Journal*. 2017; 7 (2): 59–62. DOI: 10.23670/IRJ.2017.61.020. (In Russ.)
18. Khangil'din V. V., Biryukova S. V. The problem of homeostasis in genetic and breeding research. *Genetic and Cytological Aspects in the Breeding of Agricultural Plants*. 1984; 1: 67–76. (In Russ.)
19. Orlyanskiy N. A., Orlyanskaya N. A. Evaluation of the results of ecological testing of corn hybrids using breeding indices. *Corn and Sorghum*. 2016; 2: 4–5. (In Russ.)
20. Sobolev N. A. Methodology of ecological stability of varieties and genotypes. *Problems of selection and evaluation of breeding material: collection of scientific papers*. Kiev, 1980. Pp. 100–106. (In Russ.)
21. Gryaznov A. A. Barley Karabalyksky: feed, cereals, beer. Kostanay: Pechatnyy dvor, 1996. Pp. 446. (In Russ.)
22. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 6th ed. Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russ.)

Authors' information:

Irina V. Safonova, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608. *E-mail: isafonova@vir.nw.ru*

Nikolay I. Aniskov, doctor of agricultural sciences, senior researcher, Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-7819-8286, Author ID 260589. *E-mail: n.aniskov@vir.nw.ru*

Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя

Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина[✉], Л. В. Панихина

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

[✉]E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Аннотация. Цель исследований – изучить влияние плотности стеблестоя на фитосанитарию посевов и урожайность новых сортов ячменя в условиях нестабильности климатических факторов. **Методы.** Исследования выполнены в 2021–2023 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока. Впервые получены данные о влиянии норм высева (5, 6, 7, 8 млн всхожих зерен на 1 га) на биотическую устойчивость и продукционный потенциал сортов Новичок, Памяти Родины, Родник Прикамья. Проводили фитопатологический анализ семян, учет болезней и урожая по общеизвестным методикам. **Результаты.** В условиях 2021 г. повышение развития темно-бурой пятнистости отмечали при норме высева 6 млн всхожих зерен/га. Проявление сетчатой пятнистости имело явную сортоспецифичность: у сорта Памяти Родины наибольшее развитие болезни было при норме высева 5 млн всхожих зерен/га (17,8%), у других генотипов степень поражения была наименьшей для опыта (9,4 и 12,2%). В 2023 г. отмечали усиление развития пятнистостей и корневых гнилей по мере загущения посевов. У сорта Родник Прикамья происходило существенное (при $P \geq 0,95$) повышение урожайности (с 3,88 до 5,01 т/га) с каждым шагом нормы высева; у Памяти Родины обратная тенденция: по мере загущения стеблестоя – снижение с 4,09 до 3,31 т/га. У сорта Новичок изменения незначительны, за исключением нормы высева 6 млн всхожих зерен/га, где произошло снижение признака с 4,38 до 4,09 т/га. При выборе нормы высева следует ориентироваться не только на фитосанитарный и климатический прогноз, но и экономическую целесообразность ее увеличения. Установлено доминирование генотипа (71,0%) в изменчивости урожайности; наибольший вклад в развитие пятнистостей (29,5 и 38,5%) вносило совокупное действие факторов «сорт – норма высева»; вклад генотипа – 29,0 и 16,2%.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare L.*, генотип, нормы высева, грибные болезни, абиотические условия, степень поражения, продуктивность

Для цитирования: Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Панихина Л. В. Влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние и урожайность новых сортов ярового ячменя // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1302–1311. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1302-1311>.

Дата поступления статьи: 15.04.2024, **дата рецензирования:** 17.07.2024, **дата принятия:** 23.07.2024.

The influence of stem density on the phytosanitary condition and yield of new varieties of spring barley

T. K. Sheshogova, L. M. Shchekleina[✉], L. V. Panikhina

Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia

[✉]E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Abstract. The purpose of the research is to study the influence of stem density on the phytosanitary conditions of crops and the yield of new varieties of barley under conditions of unstable climatic factors. **Methods.** The research was carried out in 2021–2023 at the Federal Agrarian Research Center of the North-East. For the first time, data have been obtained on the influence of seeding rates (5, 6, 7, 8 million germinating grains/ha) on the biotic stability

and production potential of the Novichok, Pamyati Rodinoy, and Rodnik Prikamya varieties. Phytopathological analysis of seeds, recording of diseases and yields were carried out using well-known methods. **Results.** Under the conditions of 2021, an increase in the development of dark brown spot was noted at a seeding rate of 6 million germinating grains/ha. The manifestation of net spot had a clear variety-specificity: in the variety Pamyati Rodinoy, the greatest development of the disease was at a sowing rate of 5 million germinated grains/ha (17.8 %), in other genotypes the degree of damage was the lowest for the experiment (9.4 and 12.2 %). In 2023, an increase in the development of spotting and root rot was noted as the crops thickened. For the Rodnik Prikamya variety, there was a significant (at $P \geq 0.95$) increase in yield (from 3.88 to 5.01 t/ha) with each step of the seeding rate; Pamyat Rodinoy has the opposite trend: as the stem thickens, it decreases from 4.09 to 3.31 t/ha. In the Novichok variety, the changes are insignificant, with the exception of the seeding rate of 6 million germinating grains/ha, where the trait decreased from 4.38 to 4.09 t/ha. When choosing a seeding rate, one should focus not only on the phytosanitary and climatic forecast, but also on the economic feasibility of increasing it. The dominance of the genotype (71.0 %) in yield variability was established; the greatest contribution to the development of spotting (29.5 and 38.5 %) was made by the combined effect of “variety–seeding rate” factors; the contribution of the genotype is 29.0 and 16.2 %.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., genotype, seeding rates, fungal diseases, abiotic conditions, degree of damage, productivity

For citation: Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Panikhina L. V. The influence of stem density on the phytosanitary condition and yield of new varieties of spring barley. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1302–1311. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1302-1311>. (In Russ.)

Date of paper submission: 15.04.2024, **date of review:** 17.07.2024, **date of acceptance:** 23.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Яровой ячмень – одна из ведущих зерновых культур, занимающая четвертое место в мире после пшеницы, риса и кукурузы [1–3] и имеющая наиболее высокий потенциал продуктивности в сложных агроэкологических условиях Волго-Вятского региона и Кировской области [4]. К региональному комплексу стрессоров этой культуры относятся гельминтоспориозные болезни (корневые гнили и пятнистости листьев) [5], недостаток или избыток влаги и тепла в критически важные этапы онтогенеза растений, низкое естественное плодородие преобладающих дерново-подзолистых почв и повышенная их кислотность. Так как устойчивость к неспецифическим инфекциям определяется не столько генотипом растения-хозяина, сколько его физиологическим состоянием и средовыми факторами, особое внимание нужно уделять улучшению условий выращивания культуры, в т. ч., путем совершенствования агротехнических приемов возделывания [6; 7]. При этом необходимо увязывать такие показатели, как количество высеваемых семян и их полевая всхожесть, густота стояния растений и плотность продуктивного стеблестоя. В условиях нестабильности климатических факторов (водный, тепловой режим) сбой в данной биологической системе может привести к ухудшению фитосанитарной ситуации в сортовых биоценозах и снижению урожая. Важным фактором формирования стабильно высокой продуктивности растений является оптимальная норма высева семян, поскольку она определяет внутрисортовую конкуренцию за

влагу, питательные вещества и инсоляцию [8; 9]. Изучение этого элемента технологии особенно важно для современных коммерческих сортов ячменя, отличающихся высокими компенсационными свойствами, например, повышенной крупностью зерна [10]. Считается, что урожайность на 50 % определяется плотностью продуктивного стеблестоя, на 25 % – числом зерен в колосе и на 25 % – массой 1000 зерен [11]. Ранее академик А. А. Жученко также отмечал значительную роль генотипа (до 60 %) в формировании урожая [12].

Усилия ученых-селекционеров [13; 14] направлены на создание конкурентных, адаптивных и пластичных сортов, способных формировать экономически значимую урожайность, независимо от характера биотических стрессоров и агроклиматических ресурсов. Наряду с этим современная концепция реализации продукционного потенциала генотипа заключается в разработке или оперативной корректировке сортовых технологий с учетом сортирента культуры [15], появившихся новых пестицидов (агрехимикатов) или других техногенных факторов. Это приводит к улучшению питания, роста и развития растений, позволяет в полной мере раскрыть генетический потенциал в реализации адаптивности, продуктивности и болезнеустойчивости и в целом повышает эффективность адаптивно-интегрированной системы защиты и производства зерна.

Цель исследований – изучить влияние плотности стеблестоя на фитосанитарное состояние посевов и семян и урожайность новых сортов ярового ячменя в условиях нестабильности климатических факторов.

Методология и методы исследований (Methods)

Исследования выполнены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2021–2023 годах. Закладывали полевые и лабораторные эксперименты на трех сортах селекции этого НИУ: Новичок (кислотовыносливый, практически устойчив к пыльной головне, умеренно устойчив к корневым гнилям); Родник Прикамья высокоурожайный (до 8,0 т/га), устойчив к полеганию и пыльной головне, среднеустойчив к корневым гнилям); Памяти Родины (устойчив к полеганию и пыльной головне, ценный по качеству зерна).

Элементами сортовой технологии были различные нормы высева: 5, 6, 7, 8 млн всхожих зерен на 1 га. Полевые опыты заложены по Методике ГСИ¹. Площадь делянок 10 м², повторность четырехкратная. Почва опытных участков типичная для Кировской области: дерново-подзолистая, среднесуглинистая с содержанием гумуса 2,27–2,45 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91²), P₂O₅ 257–290 мг/кг и K₂O 232–257 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91³) при pH 4,6–5,5 (ГОСТ 26483-85⁴). Посев проводили по чистому пару в оптимально ранние сроки. Обработка почвы включала отвальную вспашку (ПЛН-3-35), культивацию (КПС-4), боронование (СГ-8), прикатывание (КЗК-6); под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения в дозе N₄₅P₄₅K₄₅. Уборку урожая проводили комбайном Wintersteiger в фазу полной спелости зерна.

Учет пятнистостей листьев (сетчатая и темно-бурая) проводили в период наибольшего их развития, корневых гнилей – в фазу полной спелости зерна. При оценке пораженности болезнями пользовались шкалами М. Ф. Григорьева⁵, Н. А. Родина, З. Г. Ефремовой⁶, О. А. Афанасенко⁷.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянинову⁸ для межфазных периодов онтогенеза растений, отражающих их рост и развитие, с тем чтобы выяснить возможное влияние погодных условий на проявление болезней и формирование урожая. В лабораторных экспериментах

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос, 1985. Вып. 2. Ч. 2. 230 с.

² ГОСТ 26213-91. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 6 с.

³ ГОСТ 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Москва: Стандартиформ, 2013. 7 с.

⁴ ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1985. 6 с.

⁵ Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Ленинград: ВИР, 1976. 60 с.

⁶ Родина Н. А., Ефремова З. Г. Методические рекомендации по селекции ячменя на устойчивость к болезням и их применение в НИИСХ Северо-Востока. Москва: ВАСХНИЛ, 1986. 79 с.

⁷ Афанасенко О. С. Устойчивость ячменя к гембиотрофным патогенам // Идентифицированный генофонд растений и селекция. Санкт-Петербург: ВИР, 2005. С. 592–609.

⁸ Чирков Ю. И. Агротемнеология: учебник. Изд. перераб. и доп. Ленинград: Гидрометеоздат, 1986. 296 с.

проводили фитопатологический анализ зерна свежего урожая с использованием методики ВИЗР⁹. Повторность в опытах четырехкратная.

Величину ГТК определяли по формуле:

$$\text{ГТК} = Zr / 0,1 Zt,$$

где Zr – сумма осадков за конкретный период, мм;

Zt – сумма активных температур за тот же период.

По величине ГТК определяли тип увлажнения: менее 0,4 – сухой; 0,4...0,7 – очень засушливый; 0,7...1,0 – засушливый; 1,0...1,3 – недостаточное увлажнение; 1,3...1,6 – нормальное увлажнение; более 1,6 – избыточное увлажнение.

Статистическая обработка проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel 2013. Для оценки информативности и значимости факторов, влияющих на урожайность сортов, фитосанитарное состояние посевов и зерна ячменя, использовали результаты многофакторного дисперсионного анализа.

Результаты (Results)

Работа выполнена в 2021–2023 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в соответствии с планом НИР в рамках государственного задания по теме № FNWE-2022-0007.

Следует отметить значительную нестабильность климатических факторов в период вегетации растений ячменя. Судя по уровню ГТК от всходов до восковой спелости зерна (2021 г. – 1,30; 2022 г. – 2,10; 2023 г. – 2,00), годы исследований можно считать достаточно и избыточно увлажненными. Однако в разные этапы онтогенеза растений погодные условия варьировали от остро засушливых до избыточно увлажненных. Контрастные погодные условия сложились в 2023 году: в начале вегетации отмечали недостаток влаги (ГТК = 0,87), но дальнейший рост, закладка генеративных органов и колошение происходили при избыточном и достаточном увлажнении (ГТК = 2,55 – «флаг-лист – молочная спелость»). В 2022 году увлажнение растений от кущения до флаг-листа было достаточным (ГТК = 1,38), от флаг-листа до колошения – избыточным (ГТК = 2,85). Налив зерна во все годы проходил при жаркой и сухой погоде (ГТК = 0,80...0,86).

В контрастных погодных условиях сорта Новичок и Родник Прикамья проявили устойчивость к обеим гельминтоспориозным пятнистостям при развитии болезней в годы исследований не более 13,5 %, а Памяти Родины – среднюю устойчивость к сетчатой пятнистости при степени поражения до 24,5 %, что в целом соответствует их иммунологическим характеристикам (таблица 1).

⁹ Бенкен А. А., Хрустовская В. Н. Лабораторная оценка болезнеустойчивости растений и паразитических свойств возбудителей обыкновенной корневой гнили // Труды ВИЗР. 1977. С. 9–13.

Степень поражения сортов гельминтоспориозными пятнистостями листьев, %

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	Темно-бурая пятнистость				Сетчатая пятнистость			
	2021 г.	2023 г.	Среднее		2021 г.	2023 г.	Среднее	
			1	2			1	2
Памяти Родины								
5	14,0	11,0	13,0	12,6	17,8	16,5	17,2	18,7
6	14,5	11,0	12,8		17,0	18,7	17,9	
7	13,2	10,0	11,6		14,0	16,5	15,3	
8	–	13,0	–		–	24,5	–	
Среднее по году	13,9	11,3	–	–	16,3	19,1	–	–
Новичок								
5	9,4	6,3	7,9	8,7	9,4	4,0	6,7	7,2
6	12,0	7,3	9,7		13,5	5,5	9,5	
7	9,5	8,0	8,8		10,3	4,5	7,4	
8	–	8,3	–		–	5,0	–	
Среднее по году	10,3	7,5	–	–	11,1	4,8	–	–
Родник Прикамья								
5	10,0	7,1	8,6	9,1	12,2	7,0	9,6	9,2
6	13,0	6,5	9,8		13,0	7,0	10,0	
7	11,0	7,8	9,9		12,5	7,7	10,1	
8	–	8,1	–		–	7,0	–	
Среднее по году	11,3	7,4	–	–	12,6	7,1	–	–
HCP ₀₅	A – 0,3 B – 0,3 AB – 0,6	A – 0,5 B – 0,5 C – 0,4 AB – 0,9 AC – 0,7 BC – 0,7 ABC – 1,3			A – 0,9 B – 1,0 AB – 1,8	A – 0,6 B – 0,6 AB – 1,0 AC – 0,9 BC – 0,8 ABC – 1,5		

Примечание. 1 – по норме высева, 2 – по сорту. При расчете HCP₀₅ трехфакторного опыта: A – сорт; B – норма высева; C – год.

Table 1
Degree of damage to varieties by helminthosporium leaf spots, %

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	Dark brown spot				Net spot			
	2021	2023	Average		2021	2023	Average	
			1	2			1	2
Памяти Родины								
5	14.0	11.0	13.0	12.6	17.8	16.5	17.2	18.7
6	14.5	11.0	12.8		17.0	18.7	17.9	
7	13.2	10.0	11.6		14.0	16.5	15.3	
8	–	13.0	–		–	24.5	–	
Average for the year	13.9	11.3	–	–	16.3	19.1	–	–
Новичок								
5	9.4	6.3	7.9	8.7	9.4	4.0	6.7	7.2
6	12.0	7.3	9.7		13.5	5.5	9.5	
7	9.5	8.0	8.8		10.3	4.5	7.4	
8	–	8.3	–		–	5.0	–	
Average for the year	10.3	7.5	–	–	11.1	4.8	–	–
Родник Прикам'я								
5	10.0	7.1	8.6	9.1	12.2	7.0	9.6	9.2
6	13.0	6.5	9.8		13.0	7.0	10.0	
7	11.0	7.8	9.9		12.5	7.7	10.1	
8	–	8.1	–		–	7.0	–	
Average for the year	11.3	7.4	–	–	12.6	7.1	–	–
LSD ₀₅	A – 0.3; B – 0.3; AB – 0.6	A – 0.5; B – 0.5; C – 0.4; AB – 0.9; AC – 0.7; BC – 0.7; ABC – 1.3			A – 0.9; B – 1.0; AB – 1.8	A – 0.6; B – 0.6; AB – 1.0; AC – 0.9; BC – 0.8; ABC – 1.5		

Note. 1 – by seeding rate, 2 – by variety. When calculating LSD₀₅ 3-factor experiment: A – variety; B – seeding rate; C – year.

Таблица 2

Характер проявления корневых гнилей у проростков и взрослых растений ячменя при разной норме высева семян

Агротехнологии

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	Учет в фазу созревания (2023 г.)		Фитопатологический анализ 14-дневных проростков (лабораторный опыт)							
			Семена урожая 2021 г.		Семена урожая 2022 г.		Семена урожая 2023 г.		Среднее по норме высева	
			P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %
Родник Прикамья										
5	A	5,8	58,5	22,0	47,5	23,2	52,0	17,0	52,7	20,7
6	33,6	9,0	72,1	31,8	42,0	15,5	28,0	7,0	47,4	18,1
7	45,8	15,6	44,9	17,3	59,3	27,8	20,0	6,0	41,4	17,0
8	39,4	11,3	–	–	45,6	14,1	34,0	10,0	39,8	12,5
Среднее по сорту	34,2	10,4	–	–	–	–	–	–	45,3	17,1
Среднее по году	–	–	58,5	23,7	48,6	20,1	33,5	13,3	–	–
Новичок										
5	13,9	4,6	62,0	29,0	50,0	21,5	52,0	23,0	54,6	24,5
6	21,5	5,4	65,0	27,3	56,5	25,0	56,5	20,7	59,3	24,3
7	14,6	3,4	72,0	33,0	52,6	28,3	45,0	16,7	56,5	26,0
8	29,2	8,0	–	–	53,4	22,5	28,0	9,0	40,7	15,7
Среднее по сорту	19,8	5,4	–	–	–	–	–	–	52,7	22,6
Среднее по году	–	–	66,3	29,6	53,1	24,3	45,4	17,3	–	–
Памяти Родины										
5	40,2	14,8	76,2	36,9	62,0	28,0	54,2	21,6	64,1	28,8
6	48,0	19,5	73,3	31,7	70,0	30,0	64,0	22,0	69,1	27,9
7	38,0	13,0	65,9	36,5	59,3	24,8	45,4	17,6	56,9	26,3
8	46,2	15,4	–	–	64,0	27,0	32,0	12,0	48,0	19,5
Среднее по сорту	43,1	15,7	–	–	–	–	–	–	59,5	25,6
Среднее по году	–	–	71,8	35,0	63,8	27,4	48,9	18,3	–	–
HCP ₀₅	A – 4,9 B – 5,7 AB – 9,9	A – 1,0 B – 1,1 AB – 2,0	A – 5,6; B – 5,5; C – 5,0; BC – 9,7; ABC – 16,9 (поражение) A – 3,2; B – 3,0; AC – 5,6; BC – 5,6; ABC – 9,7 (развитие болезни)							

Примечание. P – поражение, Pb – развитие болезни.

Table 2

The nature of the manifestation of root rot in seedlings and adult barley plants at different seed sowing rates

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	Accounting in the maturation phase (2023)		Phytopathological analysis of 14-day-old seedlings (laboratory experiment)							
			2021 harvest seeds		2022 harvest seeds		2023 harvest seeds		Average according to seeding rate	
			P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %	P, %	Pb, %
Родник Прикамья										
5	18,1	5,8	58,5	22,0	47,5	23,2	52,0	17,0	52,7	20,7
6	33,6	9,0	72,1	31,8	42,0	15,5	28,0	7,0	47,4	18,1
7	45,8	15,6	44,9	17,3	59,3	27,8	20,0	6,0	41,4	17,0
8	39,4	11,3	–	–	45,6	14,1	34,0	10,0	39,8	12,5
Average by grade	34,2	10,4	–	–	–	–	–	–	45,3	17,1
Average for the year	–	–	58,5	23,7	48,6	20,1	33,5	13,3	–	–
Новичок										
5	13,9	4,6	62,0	29,0	50,0	21,5	52,0	23,0	54,6	24,5
6	21,5	5,4	65,0	27,3	56,5	25,0	56,5	20,7	59,3	24,3
7	14,6	3,4	72,0	33,0	52,6	28,3	45,0	16,7	56,5	26,0
8	29,2	8,0	–	–	53,4	22,5	28,0	9,0	40,7	15,7
Average by grade	19,8	5,4	–	–	–	–	–	–	52,7	22,6
Average for the year	–	–	66,3	29,6	53,1	24,3	45,4	17,3	–	–
Родник Прикамья										
5	40,2	14,8	76,2	36,9	62,0	28,0	54,2	21,6	64,1	28,8
6	48,0	19,5	73,3	31,7	70,0	30,0	64,0	22,0	69,1	27,9
7	38,0	13,0	65,9	36,5	59,3	24,8	45,4	17,6	56,9	26,3
8	46,2	15,4	–	–	64,0	27,0	32,0	12,0	48,0	19,5
Average by grade	43,1	15,7	–	–	–	–	–	–	59,5	25,6
Average for the year	–	–	71,8	35,0	63,8	27,4	48,9	18,3	–	–
LSD ₀₅	A – 4,9; B – 5,7; AB – 9,9	A – 1,0; B – 1,1; AB – 2,0	A – 5,6; B – 5,5; C – 5,0; BC – 9,7; ABC – 16,9 (defeat) A – 3,2; B – 3,0; AC – 5,6; BC – 5,6; ABC – 9,7 (development of the disease)							

Note. P – damage, Pb – disease development.

В условиях достаточного увлажнения в период «флаг-лист – цветение» 2021 г. у всех сортов при норме высева 6 млн всхожих зерен/га отмечали достоверное увеличение развития темно-бурой пятнистости листьев, которая в большей степени локализуется в нижнем ярусе стеблестоя. Однако дальнейшее повышение плотности стеблестоя не приводило к увеличению степени поражения растений. Что касается сетчатой пятнистости, то в данных агроэкологических условиях отмечали явную сортоспецифичность в степени ее проявления. У сорта Памяти Родины наибольшее развитие болезни было при норме высева 5 млн всхожих зерен/га (17,8 %); у других сортов в этом варианте степень поражения растений была наименьшей для опыта (9,4 % и 12,2 %). Можно полагать, что в этих абиотических условиях достаточно разреженный посев мог привести к излишней засоренности биоценоза многолетними двудольными сорняками, что обеспечило благоприятный микроклимат для возбудителя *Dresclera teres* и индуцировало усиление поражения восприимчивого сорта Памяти Родины. Данные о повышении засоренности посевов по мере снижения нормы высева семян получены и в исследованиях С. Л. Елисеева с соавторами [10] на двух сортах ячменя: Памяти Чепелева и Родник Прикамья.

В избыточно увлажненных условиях вегетации 2023 года просматривается тенденция усиления развития гельминтоспориозных пятнистостей у всех сортов по мере загущения посевов. Обнаружено также, что независимо от нормы высева в этих абиотических условиях степень поражения тест-сортов была в среднем ниже, чем в относительно благоприятном 2021 году. Это особенно проявилось у наименее поражаемых сортов Новичок и Родник Прикамья. Известно, что повышенная влажность среды оказывает губительное влияние на грибы рода *Helminthosporium*, у которых в этих условиях снижается жизнеспособность конидий.

Что касается корневых гнилей, то характер их проявления в значительной мере определяли генотип и норма высева семян (таблица 2). По мере загущения посевов у всех сортов происходило нарастание распространения и развития болезни. Это может быть обусловлено ослаблением растений при возможном недостатке питательных веществ в загущенном стеблестое и усилением вирулентности возбудителей корневых гнилей – видов *Helminthosporium* spp. и *Fusarium* spp. в изменившихся растительно-микробных взаимоотношениях. При этом обнаружено, что сорта Родник Прикамья и Новичок сильнее реагировали на увеличение плотности стеблестоя. В варианте с нормой высева 8 млн всхожих зерен на 1 га показатели иммунологических признаков по сравнению с 5 млн всхожих зерен на 1 га увеличились практически в два раза: поражение –

с 18,1 % до 39,4 % (Родник Прикамья) и с 13,9 % до 29,2 % (Новичок), развитие болезни – с 5,8 % до 11,3 % и с 4,6 % до 8,0 % соответственно.

В связи с тем, что условия вегетации значительно влияют на фенотипическое проявление устойчивости к неспецифическим инфекциям, в 2023 году мы оценили инфицированность проростков, выращенных из семян свежего урожая. Наибольшая инфицированность выявлена у сорта Памяти Родины (в среднем 59,5 % – поражение и 25,6 % – развитие болезни), что в целом согласуется с полевой оценкой этого генотипа. Несмотря на идентичные условия формирования зерна в годы исследований (ГТК = 0,80...0,86), наиболее высокая инфицированность проростков была у семян, сформировавшихся в 2021 году (58,5–71,8 % – поражение и 23,7–35,0 % – развитие болезни), что может свидетельствовать о значительной семенной инфекции. Ранее мы отмечали более высокое и существенное (при $P \geq 0,95$) влияние температурного режима ($r = 0,43$) по сравнению с количеством осадков ($r = 0,31$) на развитие гельминтоспориозных корневых гнилей ячменя [16]. Что касается влияния запущенности посева, то у всех сортов инфицированность проростков по сравнению со взрослыми растениями снижалась по мере увеличения нормы высева семян. Можно полагать, что зерновки, сформировавшиеся при дополнительном кущении на боковых побегах в разреженном стеблестое, были более щуплыми и инфицированными.

Одним из главных критериев эффективности изучаемых элементов агротехнологии и интегральным показателем является урожайность зерна. Тест-сорты неоднозначно реагировали на изменение плотности стеблестоя (таблица 3). У высокоурожайного сорта Родник Прикамья в среднем за годы исследований отмечали существенное повышение признака с каждым шагом нормы высева семян: с 3,88 т/га до 5,01 т/га. У менее урожайного генотипа Памяти Родины обнаружена обратная тенденция: по мере загущения стеблестоя уровень признака снижался с 4,09 до 3,31 т/га. У сорта Новичок изменения урожайности преимущественно незначительны, за исключением варианта с нормой высева 6 млн всхожих зерен на 1 га, где произошло снижение признака с 4,38 т/га до 4,09 т/га. Сортоспецифичность обнаружена также и в зависимости от погодных условий в период вегетации растений. Так, при достаточном увлажнении 2021 года наибольшая урожайность у тест-сортов (2,40 т/га; 3,08 т/га; 3,73 т/га) получена при норме высева 7 млн всхожих зерен на 1 га. При избыточном увлажнении 2022 и 2023 годов для сортов Памяти Родины и Новичок наиболее приемлема норма высева 5 млн всхожих зерен на 1 га, где получена наибольшая для опыта урожайность: 5,27 т/га и 4,95 т/га (Памяти Родины), 5,32 т/га и 5,95 т/га (Новичок). Вероятно,

в несколько разреженном стеблестое повышается продуктивное кушение и полнее используются элементы питания в корнеобитаемом слое. Кроме того, в этом варианте все сорта существенно меньше поражаются корневыми гнилями, а Памяти Родины и Новичок – и пятнистостями листьев. Поэтому при региональном возделывании этих сортов ячменя должен быть практикоориентированный подход к

выбору нормы высева с учетом погодных условий, прогноза фитосанитарной ситуации и, особенно, экономической целесообразности ее увеличения.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала различный вклад изучаемых факторов (сорт, норма высева, условия года) в изменчивость урожайности и иммунологических признаков (таблица 4).

Таблица 3
Урожайность сортов ячменя в зависимости от нормы высева семян и условий вегетации растений, т/га

Норма высева, млн всхожих зерен на 1 га	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее по норме высева	Среднее по сорту
Памяти Родины					
5	2,06	5,27	4,95	4,09	3,75
6	2,23	5,00	3,90	3,71	
7	2,40	4,92	4,37	3,90	
8	1,67	5,00	3,27	3,31	
Среднее по году	2,09	5,05	4,12		
Новичок					
5	1,87	5,32	5,95	4,38	4,27
6	2,43	5,15	4,69	4,09	
7	3,08	5,15	4,91	4,38	
8	2,40	5,15	5,11	4,22	
Среднее по году	2,45	5,19	5,17		
Родник Прикамья					
5	2,36	5,06	4,22	3,88	4,50
6	3,46	4,96	5,04	4,49	
7	3,73	5,14	4,99	4,62	
8	3,86	5,26	5,90	5,01	
Среднее по году	3,35	5,11	5,04		
НСР ₀₅ = A – 0,20; B – 0,21; C – F _φ < F _τ ; AB – 0,36; AC – F _φ < F _τ ; BC – 0,36; ABC – 0,62					

Table 3
Productivity of barley varieties depending on the seed sowing rate and plant growing conditions, t/ha

Seeding rate, million viable seeds per 1 ha	2021	2022	2023	Average by seeding rate	Average by variety
Памяти Родины					
5	2.06	5.27	4.95	4.09	3.75
6	2.23	5.00	3.90	3.71	
7	2.40	4.92	4.37	3.90	
8	1.67	5.00	3.27	3.31	
Average for the year	2.09	5.05	4.12		
Novichok					
5	1.87	5.32	5.95	4.38	4.27
6	2.43	5.15	4.69	4.09	
7	3.08	5.15	4.91	4.38	
8	2.40	5.15	5.11	4.22	
Average for the year	2.45	5.19	5.17		
Rodnik Prikam'ya					
5	2.36	5.06	4.22	3.88	4.50
6	3.46	4.96	5.04	4.49	
7	3.73	5.14	4.99	4.62	
8	3.86	5.26	5.90	5.01	
Average for the year	3.35	5.11	5.04		
LSD ₀₅ = A – 0.20; B – 0.21; C – F _f < F _m ; AB – 0.36; AC – F _f < F _m ; BC – 0.36; ABC – 0.62					

Вклад фиксированных и случайных факторов в изменчивость некоторых признаков ячменя, %

Признак	A – сорт	B – норма высева	C – год	AB	AC	BC	ABC	Случайные факторы
Степень поражения сетчатой пятнистостью	16,2	12,8	1,2	38,5*	10,0	0,5	19,5	1,3
Степень поражения темно-бурой пятнистостью	29,0*	6,1	3,4	29,5*	5,2	19,0	7,0	0,8
Урожайность	71,0*	6,3	0,3	4,3	0,5	4,4	4,8	8,3
Инфицированность 14-дневных проростков**	31,8*/ 43,2*	20,3/ 18,9	4,5/ 2,1	2,1/ 2,5	4,2/ 6,7	6,0/ 4,7	17,8/ 11,4	13,3/ 10,5

Примечание. * значимо на уровне 0,05; ** в числителе – поражение, в знаменателе – развитие болезни.

Table 4

Contribution of fixed and random factors to the variability of some barley traits, %

Trait	A – grade	B – seed rate	S – year	AB	AC	BC	ABC	Random factors
Degree of damage net spot	16.2	12.8	1.2	38.5*	10.0	0.5	19.5	1.3
Degree of damage dark brown spotting	29.0*	6.1	3.4	29.5*	5.2	19.0	7.0	0.8
Productivity	71.0*	6.3	0.3	4.3	0.5	4.4	4.8	8.3
Infectivity of 14-day-old seedlings**	31.8*/ 43.2*	20.3/ 18.9	4.5/ 2.1	2.1/ 2.5	4.2/ 6.7	6.0/ 4.7	17.8/ 11.4	13.3/ 10.5

Note. * significant at the 0.05 level; ** in the numerator – defeat, in the denominator – development of the disease.

Так, на развитие сетчатой и темно-бурой пятнистости наибольшее влияние оказывало совокупное действие факторов АВ, доля которых составила 38,5 % и 29,5 %. Существенный вклад в изменчивость темно-бурой пятнистости оказывает также сорт – 29,0 %. Влияние нормы высева незначимо, хотя развитие сетчатой пятнистости в отличие от темно-бурой в большей степени определяет этот фактор, о чем свидетельствует доля признака: 12,8 % и 6,1 %. Влияние условий года в изменчивости гельминтоспориозных болезней также статистически незначимо. Урожайность ячменя на 71,0 % определяется генотипом. В инфицированности проростков, выращенных из семян каждого варианта, также превалирует сорт (31,8 % – поражение и 43,2 % – развитие болезни), но достаточно велика доля комплексного действия ABC (17,8 % и 11,4 %) и случайных факторов (13,3 % и 10,5 %). Однако следует отметить, что данные, приведенные в таблице 4, не являются обобщающими. Они отражают основные тенденции в изменении вклада генотипа, нормы высева и абиотических условий в общую совокупность фиксированных факторов,

степень влияния которых может изменяться при увеличении периода наблюдений и с расширением или изменением ассортимента и норм высева.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выбор нормы высева для новых сортов ячменя определяется сортом и отчасти погодными условиями в период вегетации. Проявляется тенденция ухудшения фитосанитарной ситуации по мере загущения посевов, особенно в условиях повышенного увлажнения. При достаточном увлажнении в период вегетации для сортов Новичок и Памяти Родной оптимальной является норма 7 млн всхожих зерен на 1 га, при избыточном – 5 млн всхожих зерен на 1 га. У сорта Родник Прикамья, несмотря на то что наибольшая урожайность получена при норме 8 млн всхожих зерен на 1 га, с учетом экономической целесообразности приемлемой может быть 6 и 7 млн всхожих зерен на 1 га. Установлено, что наибольший вклад в развитие пятнистостей листьев (29,5 % и 38,5 %) оказывает совокупное действие факторов «сорт – норма высева», в урожайность ячменя, инфицированность молодых проростков, фактор «генотип» (71,0 %; 31,8 % и 43,2 %).

Библиографический список

1. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 486 с.
2. Забалуева Д. В., Сатарина, З. Е., Ерошенко, Л. М., Семенова, Е. Ю. Влияние климатических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях владимирской области // Владимирский земледелец. 2024. № 1 (107). С. 56–61.
3. Левакова О. В. Сортвые особенности формирования продуктивности ячменя сорта Рафаэль при разной норме высева // Аграрная наука. 2023. № 2. С. 82–86.

4. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (1). С. 21–31. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31.
5. Шешегова Т. К., Щеклейна Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 6–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013.
6. Бенкен А. А. Типы грибных эпифитотий // *Микология и фитопатология*. 1980. Т. 14, вып. 2. С. 141–151.
7. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat // *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2014. Vol. 74. No. 1. Pp. 23–28. DOI: 10.4067/S0718-58392014000100004.
8. Бессонова Л. В., Неволлина К. Н. Оценка продуктивности и адаптивности сортов ярового ячменя в условиях Предуралья // *Известия Оренбургского ГАУ*. 2015. № 5 (55). С. 48–50.
9. Intsar H. H., Wahid S. A. Seeding Rates influence on growth and straw yield of some bread wheat cultivars and their relationship with accumulated heat units // *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2017. Vol. 11, No. 5. Pp. 49–58.
10. Елисеев С. Л., Яркова Н. Н., Фомин Д. С., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя сортов Родник Прикамья и Памяти Чепелева в Среднем Предуралье // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства*. Пермь, 2023. С. 59–63.
11. Абдюев М. Р. Норма высева как важный составной элемент агротехники пшеницы // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018. № 11-1. С. 143–146. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10171.
12. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы) теория и практика. Москва: Агрорус, 2009. Т. 3. 958 с.
13. Заушинцева А. В. Источники биологических свойств и хозяйственно ценных признаков для селекции ячменя // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2019. № 12. С. 64–68.
14. Сурин Н. А., Зобова Н. В., Ляхова Н. Е. Генетический потенциал и селекционная значимость ячменя Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014. № 18 (2). С. 378–386.
15. Bhandari S., Rajbhandari B. P., Khatri N. Effects of seeding rate and genotype × seeding rate interactions on promising wheat genotypes at rupandehi // *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 26. Pp. 199–206.
16. Шешегова Т. К., Щеклейна Л. М. Зависимость развития корневой гнили зерновых культур от погодных условий и сорта // *Защита и карантин растений*. 2016. № 10. С. 17–19.

Об авторах:

Татьяна Кузьмовна Шешегова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией иммунитета и защиты растений, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0003-2371-4949, AuthorID 745717.

E-mail: sheshegova.tatyana@yandex.ru

Люция Муллаахметовна Щеклейна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0002-3589-5524, AuthorID 485437.

E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Любовь Владимировна Панихина, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия; ORCID 0000-0003-2227-7716, AuthorID 1058406, 912-362-95-32.

E-mail: panikhina95@yandex.ru

References

1. Rodina N. A. Barley breeding in the North-East of the Non-Black Earth Region. Kirov: Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East, 2006. 486 p. (In Russ.)
2. Zabalueva D. V., Satarina Z. E., Eroshenko L. M., Semenova E. Yu. Impact of climatic factors on the yielding capacity of spring barley in the conditions of Vladimir oblast. *Vladimir Agricolist*. 2024; 1 (107): 56–61. (In Russ.)
3. Levakova O. V. Varietal features of the formation of productivity of barley of the Rafael variety at different seeding rates. *Agrarian Science*. 2023; 2: 82–86. (In Russ.)
4. Shchennikova I. N., Kokina L. P. Prospects of barley breeding for the conditions of the Volga-Vyatka region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22 (1): 21–31. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31. (In Russ.)
5. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Phytopathogenic biota in the conditions of climate warming (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2022; 3: 6–13. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013. (In Russ.)

6. Benken A. A. Types of fungal epiphytoses. *Mycology and Phytopathology*. 1980; 14 (2): 141–151. (In Russ.)
7. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D. Effect of seeding rate on grain quality of winter wheat. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2014; 74 (1): 23–28. DOI: 10.4067/S0718-58392014000100004.
8. Bessonova L. V., Nevolina K. N. Evaluation of productivity and adaptability of spring barley varieties in the conditions of the Cis-Urals. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2015; 5 (55): 48–50. (In Russ.)
9. Intsar H. H., Wahid S. A. Seeding Rates influence on growth and straw yield of some bread wheat cultivars and their relationship with accumulated heat units. *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2017; 11 (5): 49–58.
10. Eliseev S. L., Yarkova N. N., Fomin D. S., Polyakova S. S. Yield of spring barley varieties Rodnik Prikamya and Pamyati Chepeleva in the Middle Urals. *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Plant Growing*. Perm, 2023; 59–63. (In Russ.)
11. Abdryaev M. R. To the question about seed rate. *International Journal of Humanitarian and Natural Sciences*. 2018; 11–1: 143–146. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10171. (In Russ.)
12. Zhuchenko A. A. Adaptive crop production (ecological and genetic foundations): theory and practice. Moscow: Agrorus, 2009. Vol. 3. 958 p. (In Russ.)
13. Zaushintsena A. V. The sources of biological properties and economically valuable traits for barley selection. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2019; 12: 64–68. (In Russ.)
14. Surin N. A., Zobova N. V., Lyakhova N. E. Genetic potential and breeding significance of Siberian barley. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014; 18 (2): 378–386. (In Russ.)
15. Bhandari S., Rajbhandari B. P., Khatri N. Effects of seeding rate and genotype \times seeding rate interactions on promising wheat genotypes at rupandehi. *Nepalese Journal of Agricultural Sciences*. 2024; 26: 199–206.
16. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Dependence of the development of root rot of grain crops on weather conditions and variety. *Plant Protection and Quarantine*. 2016; 10: 17–19. (In Russ.)

Authors' information:

Tatyana K. Sheshegova, doctor of biological sciences, leading researcher, head. laboratory of immunity and plant protection, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0003-2371-4949, AuthorID 745717. *E-mail: sheshegova.tatyana@yandex.ru*

Lyutsiya M. Shchekleina, candidate of agricultural sciences, senior researcher, laboratory of immunity and protection of plants, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0002-3589-5524, AuthorID 485437. *E-mail: immunitet@fanc-sv.ru*

Lyubov V. Panikhina, postgraduate, junior researcher at the laboratory of selection and primary seed production of barley, Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitskiy, Kirov, Russia; ORCID 0000-0003-2227-7716, AuthorID 1058406. *E-mail: panikhina95@yandex.ru*

Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои

Г. А. Кодирова[✉], Г. В. Загуменная, С. Е. Низкий

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,
Благовещенск, Россия

[✉]E-mail: kga@vniisoi.ru

Аннотация. Цель исследований – изучение и сравнительная оценка состава олигосахаридов в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои для направленного использования в производстве кормов, пищевых продуктов и функциональных ингредиентов. **Материалы и методы.** В качестве объектов исследования были выбраны 16 сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и выращенные в 2021–2022 гг. на селекционных полях учреждения. Биохимический анализ проводили методами капиллярного электрофореза и БИК-спектрометрии. **Результаты.** Установлено, что по совокупности изучаемых признаков наиболее перспективным сырьем для производства функциональных ингредиентов являются сорта Статная, Топаз и Бонус. В сочетании с повышенным содержанием белка в зерне (40,1 – 41,6 %) данные сорта отличались высоким уровнем олигосахаридов семейства рафинозы (ОСР), общая концентрация которых находилась в диапазоне 4,67–5,11 г / 100 г. Выявлены сорта, достоверно превышающие среднее значение содержания сахарозы в зерне: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г), при этом сорта Золушка и Евгения характеризовались благоприятным соотношением сахарозы к ОСР (1 : 1,81...1,92) и являются наиболее предпочтительными при производстве пищевых продуктов и кормов. Отмечены достоверные положительные взаимосвязи между содержанием белка и стахиозы ($r = 0,50$), белка и ОСР ($r = 0,52$). Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и концентрацией сахарозы ($r = 0,68$), что указывает на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для пищевых и кормовых целей. **Научная новизна.** Проведены исследования состава олигосахаридов (сахарозы, стахиозы, рафинозы) в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои, их изменчивости в зависимости от основных физико-химических показателей. Выявлены наиболее перспективные сорта, которые могут использоваться с учетом направлений в качестве продовольственного сырья и селекционного материала.

Ключевые слова: зерно сои, сорта, олигосахариды, сахароза, рафиноза, стахиоза

Для цитирования: Кодирова Г. А., Загуменная Г. В., Низкий С. Е. Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1312–1321. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>.

Дата поступления статьи: 16.04.2024, **дата рецензирования:** 11.06.2024, **дата принятия:** 02.08.2024.

Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content

G. A. Kodirova[✉], G. V. Zagumennaya, S. E. Nizkiy

Federal Research Center “All-Russian Scientific Research Institute of Soybean”, Blagoveshchensk, Russia

[✉]E-mail: kga@vniisoi.ru

Abstract. The purpose of the research is to study and comparatively evaluate the composition of oligosaccharides in soybean grains of varieties selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean for targeted use in the production of feed, food products and functional ingredients. **Materials and methods.** 16 soybean varieties

ies bred by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation and grown in 2021–2022 in the breeding fields of the institution, were selected as study objects. Biochemical analysis was performed using capillary electrophoresis and near-infrared (NIR) spectrometry. **Results.** It was established that, based on the totality of the characteristics under study, the most promising raw materials for the production of functional ingredients were the Statnaya, Topaz and Bonus varieties. In addition to an increased protein content in the grain (40.1 to 41.6 %), these varieties were characterized by a high level of raffinose family oligosaccharides (RFOs), the total concentration of which was in the range of 4.67 to 5.11 g / 100 g. Varieties have been identified that significantly exceed the average value of sucrose content in the grain: Evgeniya (7.80 g/100 g), Charodeyka (7.84 g / 100 g), Zolushka (7.17 g / 100 g), while the Zolushka and Evgeniya varieties were characterized by a favorable ratio of sucrose to RFOs (1 : 1.81...1.92) and were most preferred for the production of food products and feed. Significant positive correlations were observed between the content of protein and stachyose ($r = 0.50$), protein and RFOs ($r = 0.52$). A high positive correlation was established between the weight of 1,000 grains and the concentration of sucrose ($r = 0.68$), which indicated the possibility of breeding varieties with a high sucrose content for food and feed purposes. **Scientific novelty.** The composition of oligosaccharides (sucrose, stachyose, raffinose) in soybean grains of varieties selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean and their variability depending on the main physicochemical indicators were studied. The most promising varieties were identified that could be used with regard to the directions as food raw materials and breeding materials.

Keywords: soybean grain, varieties, oligosaccharides, sucrose, raffinose, stachyose.

For citation: Kodirova G. A., Zagumennaya G. V., Nizkiy S. E. Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1312–1321. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.04.2024, **date of review:** 11.06.2024, **date of acceptance:** 02.08.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из основополагающих факторов, формирующих качество и безопасность пищевых продуктов, является сырье. В России, как и в других странах, в настоящее время растет интерес потребителей к пищевым продуктам, содержащим натуральные биоактивные компоненты, в том числе растительного происхождения. Поэтому использование растительного сырья в качестве природных источников биологически активных веществ является перспективным.

Соя – важный мировой продовольственный ресурс с уникальным химическим составом, питательной ценностью, широким спектром возможностей промышленного применения и большим потенциалом для использования в пищевой промышленности, кормопроизводстве и фармацевтике [1; 2].

В зерне сои содержится 38–45 % белка, сбалансированного по аминокислотному составу, 18–23 % масла, питательная ценность которого определяется содержанием полиненасыщенных жирных кислот, 22–30 % углеводов, 3–7 % клетчатки, а также ценные макро- и микроэлементы. Сахара в семенах сои влияют на качество, усвояемость и пищевую ценность соевых продуктов. Среди бобовых культур соя отличается относительно невысоким содержанием усвояемых углеводов, основная доля которых, представлена нерастворимыми полисахаридами, включающие 3–7 % целлюлозы (клет-

чатки), 2 % лигнина, 1,3–6,5 % гемицеллюлозы. Фракция растворимых углеводов в соевом зерне представлена моносахаридами – глюкозой и фруктозой (0,7–1,5 %), дисахаридом сахарозой (3–9 %), и так называемыми олигосахаридами семейства рафинозы (ОСР) – рафинозой (0,3–1 %) и стахиозой (3–6 %) [3–5]. ОСР выполняют осмопротекторную функцию, отвечают за транспорт и хранение углерода, преимущественно используются в качестве компонентов криозащитных сред для стабилизации белково-липидного комплекса [6]. Олигосахариды содержатся во многих растениях, но основным природным источником рафинозы и стахиозы являются зернобобовые культуры (таблица 1). В сое данная группа олигосахаридов присутствует во всех частях растения, но в большинстве своем накапливается в семядолях. По мере созревания сои концентрация стахиозы и рафинозы в семядолях возрастает. Например, содержание рафинозы от фазы технической к биологической спелости увеличивается более чем в 2 раза, а стахиозы – в 45–50 раз [7]. Согласно литературным данным, уровень концентрации растворимых углеводов в соевом зерне и их свойства могут существенно меняться в зависимости от сорта и условий выращивания [5]. Так, по данным исследований, на различных генотипах сои, выращенных в Индии, отмечалась высокая вариабельность олигосахаридов с диапазоном концентрации ОСР в зерне от 0,6 до 2,6 ммоль / 100 г, аналогичные результаты показали исследования, проведенные в Польше [8].

Таблица 1

Среднее содержание олигосахаридов в зернобобовых культурах, % в расчете на сухое вещество [9–11]

Культура	Сахароза	Рафиноза	Стахиоза
Нут	1,14	1,10	2,50
Люпин	1,57	0,32	3,63
Фасоль белая	4,70	2,00	2,25
Фасоль красная	4,82	–	2,40
Вигна	–	0,40	4,80
Горох	–	0,60	1,90
Чечевица	2,97	0,90	2,70
Вика посевная	2,91	0,58	1,01
Соя	5,95	0,80	5,40

Table 1

Average content of oligosaccharides in leguminous crops, % calculated on dry matter [9–11]

Culture	Sucrose	Raffinose	Stachyose
Chickpeas	1.14	1.10	2.50
Lupine	1.57	0.32	3.63
White beans	4.70	2.00	2.25
Red beans	4.82	–	2.40
Vigna	–	0.40	4.80
Pea	–	0.60	1.90
Lentils	2.97	0.90	2.70
Vetch	2.91	0.58	1.01
Soybeans	5.95	0.80	5.40

Сахароза относится к легкоусвояемым олигосахаридам и придает продуктам характерный сладковатый вкус, обеспечивая организм запасом энергии. Основной функцией сахарозы в организме является накопление и выработка энергии, необходимой для полноценного функционирования всех клеток тканей и органов, тогда как функции стахиозы и рафинозы неоднозначны. С одной стороны, они не перевариваются из-за отсутствия в тонком кишечнике фермента галактозидазы, вызывая раздражение желудочно-кишечного тракта у человека и животных, поэтому их содержание в соевых продуктах и кормах необходимо контролировать [7]. Согласно ТР ТС 021/2011, общее содержание олигосахаридов (за исключением сахарозы) в соевых белковых продуктах диетического и детского питания не должно превышать 2,0 %. Кроме того, олигосахариды являются термостабильными, поэтому при производстве кормов и продуктов питания на основе сои следует подбирать сорта с высоким содержанием сахарозы и низким – рафинозы и стахиозы [12]. Одним из эффективных методов снижения ОСР является экстракция (осаждение) при производстве изолятов и концентратов соевого белка. Замачивание, проращивание и ферментация также улучшает функциональные и питательные свойства зернобобового сырья, уменьшает содержание антипитательных веществ, в том числе и ОСР [7; 13; 14].

С другой стороны, многочисленными исследованиями подтверждены иммуномодулирующие,

пребиотические и антиоксидантные свойства олигосахаридов, обладающих признаками селективной стимуляции полезной микрофлоры. Их пребиотический потенциал был подтвержден как *in vitro*, так *in vivo* [4; 15]. В толстом кишечнике под воздействием бифидобактерий рафиноза и стахиоза ферментируются до низкомолекулярных кислот. Это приводит к снижению уровня pH в кишечнике и создает условия, неблагоприятные для развития патогенной микрофлоры, сдвигая баланс в сторону лакто- и бифидобактерий [7; 13; 16]. Кроме того, олигосахариды обладают иммуномодулирующими свойствами, способствуют синтезу витаминов, улучшают липидный метаболизм, повышают абсорбцию минералов, тем самым снижают риск желудочно-кишечных инфекций и сердечно-сосудистых заболеваний [12].

С этой точки зрения можно рассматривать сою в качестве перспективного сырья в производстве функциональных ингредиентов пребиотического и антиоксидантного действия, тем более что основное производство сои в России сосредоточено в Амурской области, а большинство возделываемых сортов выведено во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои), поэтому изучение соевых олигосахаридов является актуальным и позволит в дальнейшем определить создание новых технологий функционального питания, а также будет способствовать расширению его ассортимента.

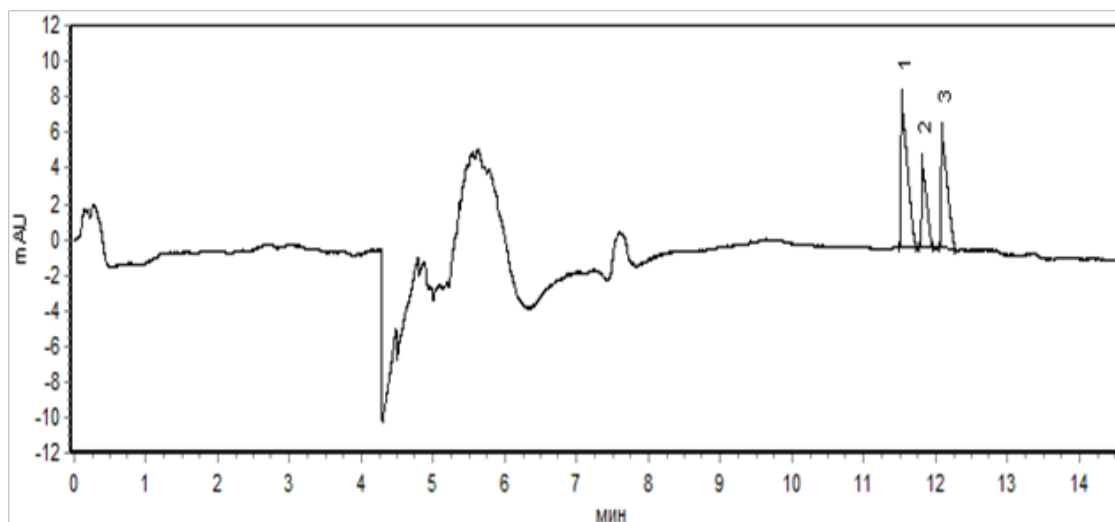


Рис. 1. Электрофореграмма градуировочной смеси олигосахаридов:

1 – сахароза, 2 – рафиноза, 3 – стахиоза

Fig. 1. Electropherogram of a calibration mixture of oligosaccharides:

1 – sucrose, 2 – raffinose, 3 – stachyose

Цель настоящих исследований – изучение и сравнительная оценка состава олигосахаридов в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои для направленного использования в производстве кормов, пищевых продуктов и функциональных ингредиентов.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа ФНЦ ВНИИ сои. В качестве объектов исследования были выбраны 16 сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и выращенные в 2021–2022 гг. на селекционных полях учреждения. Почвы селекционных участков лугово-черноземовидные, среднемощные, тяжелые по гранулометрическому составу. Содержание гумуса – 2,3...2,7 %, pH_{KCl} – 5,1. Содержание аммиачного азота – 20...40 мг/кг, нитратного – 30...70 мг/кг, подвижного фосфора – 50...80 мг/кг, обменного калия – 170...200 мг/кг.

Содержание белка, жира, углеводов и клетчатки в зерне сои определяли многомерным методом БИК-спектроскопии с использованием анализатора FOSS NIRSystems 5000 (G.R.A.S. Sound & Vibration A/S, Дания). Обработку спектров проводили по стандартным градуировочным моделям с использованием программного обеспечения Vision 3.1.

Массовую долю концентраций сахарозы, рафинозы и стахиозы определяли по ПУ 72-2020 на системе капиллярного электрофореза «Капель-205» (ООО «Люмэкс», РФ) оснащенной фотометрическим детектором, кварцевым капилляром с параметрами: общая длина – 75 см, внутренний диаметр – 50 мкм. Для установления градуировочной характеристики анализировали градуировочные

растворы в соответствии с условиями проведения анализа при диапазоне градуировочной характеристики для сахарозы и стахиозы 50–2000 мг/дм³, для рафинозы 50–1000 мг/дм³ (рис. 1). Электрофореграмма показывает, что время выхода пиков соответствует времени определяемых компонентов и является стабильной характеристикой, которая может быть использована для идентификации смеси олигосахаридов.

Подготовку проб и измерения осуществляли согласно методике проведения анализа. В виалы с пробками приливали 10 см³ 70-процентного метанола, затем выдерживали на водяной бане в течение 15 минут. После охлаждения пробы центрифугировали в течение 5 минут при 5000 об/мин. Далее надосадочную жидкость выпаривали, сухие остатки разбавляли дистиллированной водой и центрифугировали. Полученный центрифугат разбавляли в два раза раствором тетрадецилтриметиламмония бромидом и подвергали анализу. Для каждой подготовленной пробы регистрировали три электрофореграммы. Измерения проводили при длине волны 254 нм. Обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения «Эльфоран», по которой определяли массовую долю сахарозы, рафинозы и стахиозы по площади пика, пропорционально концентрации вещества.

Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ ISO 520-2014 «Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен». Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10 при уровне статистической значимости $p < 0,05$ [17]. Все эксперименты проводились в трех повторностях, и результаты выражались как среднее значение \pm стандартное отклонение.

Таблица 2

Основные показатели качества зерна сои ($\bar{M} \pm \Delta$ при $P = 0,95$)

Сорт сои	Масса 1000 зерен, г	Показатель, %			
		Белок	Жир	Углеводы	Клетчатка
Топаз	173 ± 9,4	40,1 ± 1,4	19,5 ± 1,9	24,3 ± 1,1	5,7 ± 0,4
Золотница	164 ± 8,6	38,1 ± 1,8	18,3 ± 2,1	24,5 ± 0,8	7,5 ± 0,9
Апис	153 ± 5,3	38,9 ± 1,7	19,3 ± 1,04	24,6 ± 0,6	6,2 ± 0,7
Статная	130 ± 9,6	41,6 ± 2,6	20,8 ± 1,4	25,1 ± 1,2	7,5 ± 0,6
Умка	176 ± 9,8	38,7 ± 0,9	22,5 ± 1,0	24,5 ± 1,5	6,6 ± 0,7
Кружевица	138 ± 5,4	39,9 ± 1,1	17,7 ± 0,7	24,6 ± 1,3	7,7 ± 0,8
Сентябринка	159 ± 9,8	40,2 ± 0,8	19,0 ± 0,5	24,7 ± 0,9	6,7 ± 0,5
Алпетра	153 ± 7,0	39,2 ± 2,1	19,8 ± 1,3	25,1 ± 1,1	6,3 ± 0,6
Чародейка	205 ± 4,2	38,4 ± 1,9	19,9 ± 0,8	24,6 ± 0,5	5,5 ± 0,9
Куханна	175 ± 5,1	40,6 ± 0,6	17,8 ± 1,2	24,7 ± 0,3	6,9 ± 0,7
ВНИИС-18	139 ± 7,3	39,8 ± 2,4	19,5 ± 0,9	24,7 ± 0,8	7,9 ± 0,3
Евгения	192 ± 6,5	39,7 ± 1,3	18,0 ± 0,4	24,8 ± 0,6	7,5 ± 0,3
Грей	146 ± 3,8	40,2 ± 1,8	18,0 ± 1,2	24,4 ± 1,7	8,1 ± 0,6
Золушка	182 ± 5,2	39,6 ± 0,7	18,6 ± 0,7	24,7 ± 0,5	7,6 ± 0,4
Алена	178 ± 9,4	37,7 ± 1,1	19,0 ± 2,0	24,4 ± 1,1	5,4 ± 0,8
Бонус	183 ± 5,3	41,4 ± 0,9	19,1 ± 1,8	24,7 ± 0,9	6,7 ± 0,8
Lim	130–205	37,7–41,6	17,7–22,5	24,3–25,1	5,4–8,1
\bar{x}	165,5	39,8	19,2	24,7	6,9
CR (0,95)	20,74	1,09	1,23	0,22	0,87
CV	12,53	2,75	6,43	0,90	12,62

Биология и биотехнологии

Table 2

Main indicators of soybean grain quality ($\bar{M} \pm \Delta$ at $P = 0.95$)

Soybean variety	Weight of 1000 grains, g	Indicators, %			
		Protein	Fat	Carbohydrates	Fiber
Topaz	173 ± 9.4	40.1 ± 1.4	19.5 ± 1.9	24.3 ± 1.1	5.7 ± 0.4
Zolotnitsa	164 ± 8.6	38.1 ± 1.8	18.3 ± 2.1	24.5 ± 0.8	7.5 ± 0.9
Apis	153 ± 5.3	38.9 ± 1.7	19.3 ± 1.04	24.6 ± 0.6	6.2 ± 0.7
Statnaya	130 ± 9.6	41.6 ± 2.6	20.8 ± 1.4	25.1 ± 1.2	7.5 ± 0.6
Umka	176 ± 9.8	38.7 ± 0.9	22.5 ± 1.0	24.5 ± 1.5	6.6 ± 0.7
Kruzhavnitsa	138 ± 5.4	39.9 ± 1.1	17.7 ± 0.7	24.6 ± 1.3	7.7 ± 0.8
Sentyabrinka	159 ± 9.8	40.2 ± 0.8	19.0 ± 0.5	24.7 ± 0.9	6.7 ± 0.5
Alpetra	153 ± 7.0	39.2 ± 2.1	19.8 ± 1.3	25.1 ± 1.1	6.3 ± 0.6
Charodeyka	205 ± 4.2	38.4 ± 1.9	19.9 ± 0.8	24.6 ± 0.5	5.5 ± 0.9
Kukhanna	175 ± 5.1	40.6 ± 0.6	17.8 ± 1.2	24.7 ± 0.3	6.9 ± 0.7
VNIIS-18	139 ± 7.3	39.8 ± 2.4	19.5 ± 0.9	24.7 ± 0.8	7.9 ± 0.3
Evgeniya	192 ± 6.5	39.7 ± 1.3	18.0 ± 0.4	24.8 ± 0.6	7.5 ± 0.3
Grey	146 ± 3.8	40.2 ± 1.8	18.0 ± 1.2	24.4 ± 1.7	8.1 ± 0.6
Zolushka	182 ± 5.2	39.6 ± 0.7	18.6 ± 0.7	24.7 ± 0.5	7.6 ± 0.4
Alena	178 ± 9.4	37.7 ± 1.1	19.0 ± 2.0	24.4 ± 1.1	5.4 ± 0.8
Bonus	183 ± 5.3	41.4 ± 0.9	19.1 ± 1.8	24.7 ± 0.9	6.7 ± 0.8
Lim	130–205	37.7–41.6	17.7–22.5	24.3–25.1	5.4–8.1
\bar{x}	165.5	39.8	19.2	24.7	6.9
CR (0.95)	20.74	1.09	1.23	0.22	0.87
CV	12.53	2.75	6.43	0.90	12.62

Результаты (Results)

Качество зерна сои, а именно его физические и химические признаки, является одним из основных факторов, формирующих потребительские свойства продовольственного сырья и продуктов питания. Диапазон изменчивости основных физико-химических показателей представлен в таблице 2. Сравнительный анализ массы 1000 зерен, согласно дескрипторам «Международного классификатора

СЭВ» рода *Glycine* Willd [18], показал, что большинство исследуемых сортов обладали средней крупностью зерна с диапазоном от 138 г (Кружевица) до 183 г (Бонус). Один сорт Статная характеризовался как мелкосемянный (130 г), при этом значения содержания в его зерне белка, жира и общих углеводов существенно превосходили средние значения данных признаков. Зерно сои сортов Евгения и Чародейка отличалось крупной фракци-

ей, масса 1000 зерен в среднем за два года составила 192 г и 205 г соответственно. Коэффициент вариации массы 1000 зерен составил 12,5 %, что указывает на среднюю степень изменчивости признака. Также средняя межсортная изменчивость отмечена по содержанию клетчатки ($C_v = 12,6 \%$), слабая – по показателям белка, жира и общих углеводов ($C_v < 10 \%$). Среди исследуемых сортов с существенным превышением средних значений по содержанию белка были отмечены сорта Статная

(41,6 %) и Бонус (41,4 %), по содержанию жира – Статная (20,8 %) и Умка (22,5 %), по содержанию общих углеводов – Статная и Алпетра (25,1 %), по содержанию клетчатки – ВНИИС-18 (7,9 %) и Грей (8,1 %).

Анализ компонентного состава олигосахаридов в исследуемых сортах сои показал слабую изменчивость содержания сахарозы и стахиозы. Межсортные колебания данных признаков не превышали 9 % (таблица 3).

Таблица 3
Характеристика сортов сои по содержанию в зерне олигосахаридов ($\bar{M} \pm \Delta$ при $P = 0,95$)

Сорт сои	Олигосахариды, г/100 г			Σ ОСР, г / 100 г	Соотношение сахароза / Σ ОСР
	Сахароза	Рафиноза	Стахиоза		
Топаз	6,76 ± 0,17	0,63 ± 0,13	4,04 ± 0,22	4,67 ± 0,34	1,45
Золотница	6,93 ± 0,15	0,69 ± 0,32	3,29 ± 0,18	3,98 ± 0,27	1,74
Апис	6,02 ± 0,25	0,46 ± 0,23	3,68 ± 0,13	4,14 ± 0,17	1,44
Статная	6,87 ± 0,11	0,56 ± 0,12	4,15 ± 0,24	4,71 ± 0,20	1,46
Умка	6,83 ± 0,22	0,46 ± 0,23	3,38 ± 0,20	3,84 ± 0,21	1,78
Кружевница	5,90 ± 0,18	0,36 ± 0,11	3,75 ± 0,31	4,11 ± 0,24	1,44
Сентябринка	6,45 ± 0,15	0,59 ± 0,15	3,53 ± 0,36	4,12 ± 0,28	1,57
Алпетра	5,60 ± 0,09	0,55 ± 0,23	3,56 ± 0,11	4,11 ± 0,18	1,36
Чародейка	7,84 ± 0,32	0,45 ± 0,17	3,98 ± 0,20	4,43 ± 0,19	1,77
Куханна	6,86 ± 0,16	0,45 ± 0,33	3,99 ± 0,16	4,44 ± 0,26	1,55
ВНИИС-18	6,29 ± 0,19	0,47 ± 0,08	3,45 ± 0,14	3,92 ± 0,11	1,60
Евгения	7,80 ± 0,20	0,50 ± 0,35	4,01 ± 0,18	4,06 ± 0,22	1,92
Грей	6,70 ± 0,33	0,44 ± 0,16	3,72 ± 0,28	4,16 ± 0,19	1,61
Золушка	7,17 ± 0,08	0,49 ± 0,18	3,47 ± 0,20	3,96 ± 0,20	1,81
Алена	6,96 ± 0,12	0,54 ± 0,24	3,89 ± 0,11	4,43 ± 0,18	1,57
Бонус	7,01 ± 0,09	0,47 ± 0,24	4,63 ± 0,18	5,11 ± 0,21	1,37
\bar{x}	6,76	0,50	3,78	4,29	1,59
$CV, \%$	9,0	16,22	9,17	7,96	10,25
$HCP_{0,05}$	0,59	0,08	0,34	0,28	0,17

Примечание. Σ ОСР – общее содержание олигосахаридов семейства рафинозы.

Table 3
Characteristics of soybean varieties according to the content of oligosaccharides in grain ($\bar{M} \pm \Delta$ at $P = 0.95$)

Soybean variety	Oligosaccharides, g/100g			Σ RFO, g / 100g	Ratio sucrose / Σ RFO
	Sucrose	Raffinose	Stachyose		
Topaz	6.76 ± 0.17	0.63 ± 0.13	4.04 ± 0.22	4.67 ± 0.34	1.45
Zolotmitsa	6.93 ± 0.15	0.69 ± 0.32	3.29 ± 0.18	3.98 ± 0.27	1.74
Apis	6.02 ± 0.25	0.46 ± 0.23	3.68 ± 0.13	4.14 ± 0.17	1.44
Statnaya	6.87 ± 0.11	0.56 ± 0.12	4.15 ± 0.24	4.71 ± 0.20	1.46
Umka	6.83 ± 0.22	0.46 ± 0.23	3.38 ± 0.20	3.84 ± 0.21	1.78
Kruzhevnitsa	5.90 ± 0.18	0.36 ± 0.11	3.75 ± 0.31	4.11 ± 0.24	1.44
Sentyabrinka	6.45 ± 0.15	0.59 ± 0.15	3.53 ± 0.36	4.12 ± 0.28	1.57
Alpetra	5.60 ± 0.09	0.55 ± 0.23	3.56 ± 0.11	4.11 ± 0.18	1.36
Charodeyka	7.84 ± 0.32	0.45 ± 0.17	3.98 ± 0.20	4.43 ± 0.19	1.77
Kukhanna	6.86 ± 0.16	0.45 ± 0.33	3.99 ± 0.16	4.44 ± 0.26	1.55
VNIIS-18	6.29 ± 0.19	0.47 ± 0.08	3.45 ± 0.14	3.92 ± 0.11	1.60
Evgeniya	7.80 ± 0.20	0.50 ± 0.35	4.01 ± 0.18	4.06 ± 0.22	1.92
Grey	6.70 ± 0.33	0.44 ± 0.16	3.72 ± 0.28	4.16 ± 0.19	1.61
Zolushka	7.17 ± 0.08	0.49 ± 0.18	3.47 ± 0.20	3.96 ± 0.20	1.81
Alena	6.96 ± 0.12	0.54 ± 0.24	3.89 ± 0.11	4.43 ± 0.18	1.57
Bonus	7.01 ± 0.09	0.47 ± 0.24	4.63 ± 0.18	5.11 ± 0.21	1.37
\bar{x}	6.76	0.50	3.78	4.29	1.59
$CV, \%$	9.0	16.22	9.17	7.96	10.25
$HCP_{0,05}$	0.59	0.08	0.34	0.28	0.17

Note. Σ RFO – total content of oligosaccharides of the raffinose family.

Сахароза присутствует в сое в основном в связанном состоянии и почти не влияет на вкусовые характеристики зерна, но вместе с тем является важным показателем, улучшающим вкус и аромат соевых продуктов [12]. Среди выявленных олигосахаридов фракция сахарозы является доминирующей, ее доля в зерне исследуемых сортов составила 57,8–63,5 % от общего количества олигосахаридов при среднем уровне концентрации 6,75 г / 100 г. По результатам химического анализа выявлено 9 сортов с содержанием сахарозы выше среднего, из них 3 сорта выделены как наиболее перспективные с существенным ($P \leq 0,05$) превышением среднего значения: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г).

Стахиоза по количественному содержанию является одним из основных растворимых углеводов после сахарозы. При незначительной изменчивости признака ее содержание в сортах сои колебалось от 3,29 г / 100 г до 4,63 г / 100 г. Средняя концентрация стахиозы для всех исследуемых сортов составила 3,78 г / 100 г сухого вещества. Минимальным содержанием стахиозы характеризовались сорта Золотница и Умка. Также выявлены сорта (Статная, Бонус), существенно превысившие ($P \leq 0,05$) среднее значение признака.

Значительная межсортовая изменчивость наблюдалась по содержанию рафинозы с диапазоном значений от 0,36 г / 100 г до 0,69 г / 100 г при среднем уровне 0,51 г / 100 г сухого вещества. Наибольшее содержание рафинозы в исследуемых сортах было определено в зерне сои сортов Топаз и Золотница, минимальное – сорта Кружевница.

Общее содержание ОСП в зерне изучаемых сортов находилось в диапазоне от 3,84 г / 100 г (Умка) до 5,11 г / 100 г (Бонус). Сорта Золотница, Умка, ВНИИС-18, Евгения, Золушка, имели значения этого показателя ниже среднего, что делает их наиболее пригодными в производстве пищевых продуктов и кормов. Относительно высоким уровнем ОСП (4,67–5,11 г / 100 г) отличались сорта Статная, Топаз и Бонус, их можно рассматривать в качестве перспективного сырья в производстве функциональных ингредиентов.

Соотношение концентраций сахарозы к сумме ОСП позволяет определить значимость указанных характеристик. Относительно низкие показатели ОСП при высоком содержании сахарозы являются одним из факторов, определяющих перспективность соевого зерна как сырья для производства пищевой и кормовой продукции. В целом среди исследуемых сортов такая взаимосвязь не выявлена, сорта с относительно высоким содержанием сахарозы имели концентрацию ОСП как ниже, так и выше среднего уровня. Вместе с тем два сорта – Золушка и Евгения – характеризовались наиболее благоприятным соотношением углеводов компо-

нентов (с повышенным содержанием сахарозы и минимальной концентрацией ОСП).

В зерне изучаемых сортов сои были рассмотрены корреляционные зависимости между основными физико-химическими показателями (масса 1000 зерен, белок, жир, общие углеводы, клетчатка) и содержанием олигосахаридов, позволяющие прогнозировать их изменение в процессе селекции. Результаты корреляционного анализа показали, что крупность зерна положительно влияет на концентрацию сахарозы ($r = 0,68$), при этом не оказывает существенного влияния на содержание рафинозы ($r = -0,23$) и стахиозы ($r = -0,37$). Данные взаимосвязи указывают на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для пищевых и кормовых целей, а также являются благоприятным признаком для производства соевых продуктов улучшенного качества. Тесная положительная связь выявлена между стахиозой и ОСП ($r = 0,92$), что вполне ожидаемо, так как стахиоза является доминирующим показателем в составе олигосахаридов семейства рафинозы. Средняя положительная взаимосвязь отмечена между содержанием белка и стахиозой ($r = 0,50$), белка и ОСП ($r = 0,52$). Слабая корреляция выявлена между сахарозой и стахиозой ($r = 0,34$). Корреляционные связи между содержанием сахарозы и рафинозы, стахиозы и рафинозы были слабыми и статистически незначимыми. Не выявлены взаимосвязи олигосахаридов с содержанием жира и клетчатки.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенных исследований установлено, что все исследуемые сорта сои могут быть использованы в производстве функциональных ингредиентов и пищевых добавок функциональной направленности. Однако по совокупности изучаемых признаков наиболее перспективным сырьем для этих целей являются сорта Статная, Топаз и Бонус, которые в сочетании с повышенным содержанием в зерне белка (40,1–41,6 %) отличались от других сортов высоким уровнем ОСП (4,67–5,11 г / 100 г). Выделены сорта, достоверно превышающие среднее значение содержания сахарозы в зерне: Евгения (7,80 г / 100 г), Чародейка (7,84 г / 100 г), Золушка (7,17 г / 100 г). При этом сорта сои Золушка и Евгения характеризовались благоприятным соотношением сахарозы к ОСП (1 : 1,81...1,92) и являются наиболее предпочтительными при производстве пищевых продуктов и кормов. Отмечены достоверные положительные взаимосвязи между содержанием белка и стахиозой ($r = 0,50$), белка и ОСП ($r = 0,52$). Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и концентрацией сахарозы ($r = 0,68$), что указывает на возможность выведения сортов с высоким содержанием сахарозы для использования в пищевых и кормовых целях.

Библиографический список

1. Козлова Е. И., Новак М. А., Яндьо В. В. Региональные аспекты развития рынка сои на современном этапе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1 (76). С. 213–220. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_213.
2. Шафигуллин Д. Р. Агробиологические и физиолого-биохимические аспекты интродукции сои овощной (*glycine max L.*) в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: дис. ... кан. с.-х. наук: 06.01.09. Москва, 2020. 195 с.
3. Banti M. Raffinose Family oligosaccharides, occurrence in food materials, nutritional implication and methods of analysis: a review // World Journal of Food Science and Technology. 2021. – Vol. 5, No. 3. Pp. 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
4. Belobrajdic D. P., James-Martin G., Jones D., Tran C. D. Soy and gastrointestinal health: a review // Nutrients. 2023. Vol. 15, No. 8. Article number 1959. DOI: 10.3390/nu15081959.
5. Jamison D., Chen P., Hettiarachchy N., Miller D., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for sucrose and protein content in soybean seed // Plants. 2024. Vol. 13, No. 5. Article number 650. DOI: 10.3390/plants13050650.
6. Юрова Е. А., Ананьева Н. В. Практика применения и особенности контроля олигосахаридов в производстве продуктов специализированного питания // Пищевые системы. 2022. Т. 5. № 4. С. 353–360. DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-4-353-360.
7. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis, a Review // World Journal of Food Science and Technology. 2021. Vol. 5, No. 3. Pp. 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
8. Kasprowicz-Potocka M., Gulewicz P., Zaworska-Zakrzewska A. The content of raffinose oligosaccharides in legumes and their importance for animals // Journal of Animal and Feed Sciences. 2022. Vol. 31, No. 3. Pp. 265–275. DOI: 10.22358/jafs/149656/2022.
9. Артемова Е. Н. Бобовые в технологии соусов // Продукты питания. Новые технологии: сборник научных статей. Орел, 2022. С. 188–206.
10. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Mikulski D., Kłosowski G. Changes in the raffinose family oligosaccharides content in the lentil and common bean seeds during malting and mashing processes // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 17911. DOI: 10.1038/s41598-022-22943-1.
11. Lahuta L. B., Rybiński W., Bocianowski J., Nowosad K., Börner A. Raffinose family oligosaccharides in seeds of common vetch (*Vicia sativa L. ssp. sativa*) // Legume Research. 2019. Vol. 43, No. 4. Pp. 512–517. DOI: 10.18805/LR-491.
12. Qi J., Zhang S., Azam M., et al. Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions // The Crop Journal. 2022. Vol. 10, No. 6. Pp. 1825–1831. DOI: 10.1016/j.cj.2022.04.015.
13. Тихомирова Н. А. Формирование и оценка потребительских свойств безлактозных напитков функционального назначения на основе продуктов переработки соевых семян и плодов унаби: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.15. Краснодар, 2020. 162 с.
14. Zhang J., Song G., Mei Y., Li R., Zhang H., Liu Y. Present status on removal of raffinose family oligosaccharides // Czech Journal of Food Sciences. 2019. Vol. 37, No. 3. Pp. 141–154. DOI: 10.17221/472/2016-CJFS.
15. Храпцов А. Г., Рябцева С. А., Будкевич Р. О., Ахмедова В. Р., Родная А. Б., Маругина Е. В. Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 1. С. 5–17. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10001.
16. Amorim C., Silvério S. C., Cardoso B. B., Alves J. I., Pereira M. A., Rodrigues L. R. In vitro fermentation of raffinose to unravel its potential as prebiotic ingredient // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 126. Article number 109322. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109322.
17. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 688 с.
18. Щелко Л. Г., Седова Т. С., Корнейчук В. А. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine Willd* // Научно-технический совет стран – членов СЭВ по коллекциям диких культурных видов растений. Ленинград: ВИР, 1990. 38 с.

Об авторах:

Галина Александровна Кодирова, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0002-2414-5699, AuthorID 783877. *E-mail: kga@vniisoi.ru*

Галина Викторовна Загуменная, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0001-6074-902X, AuthorID 786750. *E-mail: kgv@vniisoi.ru*

Сергей Евгеньевич Низкий, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0002-1451-5422, AuthorID 538857. *E-mail: Agrofak06@mail.ru*

References

1. Kozlova E. I., Novak M. A., Yandyo V. V. Regional aspects of soybean market development at the present stage. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (1): 213–220. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_213. (In Russ.)
2. Shafiguillin D. R. Agrobiological and physiological-biochemical aspects of the introduction of vegetable soybean (*glycine max L.*) in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem Zone: the dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.09. Moscow, 2020. 195 p. (In Russ.)
3. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis: a review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5 (3): 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
4. Belobrajdic D. P., James-Martin G., Jones D., Tran C. D. Soy and gastrointestinal health: a review. *Nutrients*. 2023; 15 (8): 1959. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15081959>.
5. Jamison D., Chen P., Hettiarachchy N., Miller D., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for sucrose and protein content in soybean seed. *Plants*. 2024; 13 (5): 650. DOI: 10.3390/plants13050650.
6. Yurova E. A., Ananyeva N. V. Praktika primeneniya i osobennosti kontrolya oligosaharidov v proizvodstve produktov specializirovannogo pitaniya [Practice of Application and Peculiarities of Control of Oligosaccharides in the Production of Speciality Foods]. *Food systems*. 2022; 5 (4): 353–360. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-353-360>. (In Russ.)
7. Banti M. Raffinose Family oligosaccharides, occurrence in food materials, nutritional implication and methods of analysis: a review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5 (3): 37–44. DOI: 10.11648/j.wjfst.20210503.11.
8. Kasprowicz-Potocka M., Gulewicz P., Zaworska-Zakrzewska A. The content of raffinose oligosaccharides in legumes and their importance for animals. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2022; 31 (3): 265–275. DOI: 10.22358/jafs/14965/2022.
9. Artemova E. N. Legumes in sauce technology. *Food products. New technologies: collection of scientific articles*. Oryol, 2022. Pp. 188–206. (In Russ.)
10. Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Mikulski D., Kłosowski G. Changes in the raffinose family oligosaccharides content in the lentil and common bean seeds during malting and mashing processes. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 17911. DOI: 10.1038/s41598-022-22943-1.
11. Lahuta L. B., Rybiński W., Bocianowski J., Nowosad K., Börner A. Raffinose family oligosaccharides in seeds of common vetch (*Vicia sativa L. ssp. sativa*). *Legume Research*. 2019; 43 (4): 512–517. DOI: 10.18805/LR-491.
12. Qi J., Zhang S., Azam M., et al. Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions. *The Crop Journal*. 2022; 10 (6): 1825–1831. DOI: 10.1016/j.cj.2022.04.015.
13. Tikhomirova N. A. Formation and evaluation of consumer properties of lactose-free functional drinks based on processed soybean seeds and unabi fruits: the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.18.15. Krasnodar, 2020. 162 p. (In Russ.)
14. Zhang J., Song G., Mei Y., Li R., Zhang H., Liu Y. Present status on removal of raffinose family oligosaccharides. *Czech Journal of Food Sciences*. 2019; 37 (3): 141–154. DOI: 10.17221/472/2016-CJFS.
15. Khramtsov A. G., Ryabtseva S. A., Budkevich R. O., Akhmedova V. R., Rodnaya A. B., Marugina E. V. Prebiotics as Functional Food Ingredients: Terminology, Selection Criteria and Comparative Evaluation, Classification. *Nutrition Issues*. 2018; 87 (1): 5–17. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10001. (In Russ.)
16. Amorim C., Silvério S. C., Cardoso B. B., Alves J. I., Pereira M A., Rodrigues L. R. In vitro Fermentation of Affinose to Unravel its Potential as Prebiotic Ingredient. *LWT – Food Science and Technology*. 2020; 126: 109322. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109322.

17. Borovikov V. P. STATISTICA. The art of data analysis on a computer: For professionals. Saint Petersburg: Piter, 2003. 688 p. (In Russ.)

18. Shchelko L. G., Sedova T. S., Korneichuk V. A. International classifier of the CMEA genus *Glycine* Willd. *Scientific and Technical Council of CMEA member countries on collections of wild cultivated plant species*. Leningrad: VIR, 1990. 38 p. (In Russ.)

Authors' information:

Galina A. Kodirova, candidate of technical sciences, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0002-2414-5699, AuthorID 783877.

E-mail: kga@vniisoi.ru

Galina V. Zagumennaya, candidate of technical sciences, senior researcher, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0001-6074-902X, AuthorID 786750. *E-mail: kgv@vniisoi.ru*

Sergey E. Nizkiy, candidate of biological sciences, senior researcher, Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveschensk, Russia; ORCID 0000-0002-1451-5422, AuthorID 538857. *E-mail: Agrofak06@mail.ru*

Биологические эффекты воздействия ионизирующего и неионизирующего излучения на развитие доимплантационных эмбрионов крупного рогатого скота

В. А. Макутина, Р. А. Вазиров, А. С. Кривоногова, И. М. Донник, А. Г. Исаева[✉],
М. В. Петропавловский

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

[✉]E-mail: isaeva.05@bk.ru

Аннотация. Целью данного исследования было оценить влияние низких доз ионизирующего (ИИ) и неионизирующего излучения на созревание ооцитов КРС *in vitro* (IVM) и их последующее эмбриональное развитие. **Материалы и методы.** В экспериментальном исследовании яичники КРС первой группы подвергались облучению на ускорителе электронов. Яичники второй группы располагались внутри катушки и подвергались воздействию магнитного поля. После воздействия из яичников получали ооциты и проводили IVM и ЭКО с последующим наблюдением развития эмбрионов в системе *time laps*. Эмбрионы третьей группы находились под воздействием электромагнитного излучения (ЭМИ) маршрутизатора (2,4 ГГц) на протяжении всего периода культивирования эмбрионов от оплодотворения до стадии бластоцисты. **Результаты.** Полученные результаты облучения яичников не позволили достоверно утверждать о наличии негативного эффекта воздействия малых доз ИИ и ЭМИ. Однако в обеих экспериментальных группах ИИ наблюдалась тенденция к снижению уровня сформированных бластоцист по сравнению с контрольной группой. Воздействие магнитного поля на яичники вызывает небольшое, но значимое увеличение сроков первого деления эмбриона. Кроме того, наблюдалась тенденция к уменьшению количества зрелых ооцитов и сформировавшихся бластоцист, что свидетельствует о повышении уровня дегенерации ооцитов и эмбрионов крупного рогатого скота. Прямое воздействие ЭМИ на эмбрионы на предимплантационном этапе не оказывало отрицательного влияния на развитие эмбрионов и не снижало количество бластоцист, образующихся *in vitro*. **Научная новизна.** Впервые проведен сравнительный анализ влияния малых доз ионизирующего излучения на развитие ранних доимплантационных эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro*; изучено влияние электромагнитного излучения от техногенных источников на процессы дробления эмбрионов.

Ключевые слова: ооцит крупного рогатого скота, созревание *in vitro*, экстракорпоральное оплодотворение, магнитное поле, электромагнитное излучение

Для цитирования: Макутина В. А., Вазиров Р. А., Кривоногова А. С., Донник И. М., Исаева А. Г., Петропавловский М. В. Биологические эффекты воздействия ионизирующего и неионизирующего излучения на развитие доимплантационных эмбрионов крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1322–1333. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1322-1333>.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 19-76-10022, <https://rscf.ru/project/19-76-10022>.

Дата поступления статьи: 02.05.2024, **дата рецензирования:** 26.08.2024, **дата принятия:** 18.09.2024.

Biological effects of exposure to ionizing and non-ionizing radiation on the preimplantation bovine embryos development

V. A. Makutina, R. A. Vazirov, A. S. Krivonogova, I. M. Donnik, A. G. Isaeva[✉],
M. V. Petropavlovskiy

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

[✉]E-mail: isaeva.05@bk.ru

Abstract. The purpose of this study was to evaluate the effects of low-dose of ionizing radiation (IR) and non-ionizing radiation on oocyte in vitro maturation (IVM) and subsequent embryonic development. **Materials and methods.** In an experimental study, bovine ovaries of the first group were irradiated with an electron accelerator. The ovaries of the second group were located inside of a coil and were exposed to a magnetic field. After irradiation, oocytes were obtained from the ovaries and IVM and in vitro fertilization (IVF) were performed, followed by observation of embryo development in a time-laps system. The embryos of the third group were exposed to electromagnetic radiation (EMR) from the router (2.4 GHz) throughout the entire period of embryo cultivation from fertilization to blastocyst stage. **Results.** The obtained results of irradiation of the ovaries did not allow us to reliably state if there is a presence of a negative effect of exposure to small doses of irradiation and electromagnetic radiation. However, in both experimental IR groups, there was a decrease in the level of formed blastocysts compared to the control group. The effect of a magnetic field on the ovaries causes a small but significant increase in the timing of the first embryo cleavage. In addition, there was a trend towards a decrease in the number of mature oocytes and formed blastocysts, indicating an increase in the level of degeneration of bovine oocytes and embryos. The direct exposure of preimplantation embryos to EMR did not influence on embryos development and did not reduce the number of blastocysts formed in vitro. **Scientific novelty.** We have carried out a comparative analysis of the influence of low-dose ionizing radiation on the development of pre-implantation bovine embryos in vitro. We have studied the influence of electromagnetic radiation from anthropogenic sources on the embryo cleavage.

Keywords: bovine oocyte, in vitro maturation, in vitro fertilization, magnetic field, electromagnetic radiation

For citation: Makutina V. A., Vazirov R. A., Krivonogova A. S., Donnik I. M., Isaeva A. G., Petropavlovskiy M. V. Biological effects of exposure to ionizing and non-ionizing radiation on the preimplantation bovine embryos development. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1322–1333. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1322-1333>. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 19-76-10022, <https://rscf.ru/project/19-76-10022>.

Date of paper submission: 02.05.2024, **date of review:** 26.08.2024, **date of acceptance:** 18.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

С развитием современных технологий невозможно избежать воздействия неионизирующего излучения и электромагнитных полей (таких как Wi-Fi, микроволновые печи, радио, телекоммуникации, устройства Bluetooth и т. д.) на биологические организмы на разных стадиях развития. Естественный радиационный фон, ЭМИ, механические колебания и другие физические факторы могут оказать как отрицательный, так и положительный эффект на рост и развитие эмбрионов *in vivo* и *in vitro*. ЭМИ классифицируются на ионизирующие и неионизирующие на основании величины энергии, при этом энергия кванта в 10–12 эВ принята критерием разделения, что соответствует длине волны около 100 нм. Ис-

ходя из этого к ионизирующим электромагнитным излучениям относят рентгеновское и гамма-излучение, а к неионизирующим – более низкочастотные: ультрафиолетовое, видимый свет, инфракрасное, микроволновое и радиочастотное.

Влияние ЭМИ может оказать влияние на агропромышленные холдинги, в том числе изменяя репродуктивную функцию сельскохозяйственных животных и воздействуя на эмбриональное развитие. Так, показано, что электромагнитные волны низкой интенсивности от мобильных телефонов повышают уровень смертности на ранних и поздних стадиях развития куриных эмбрионов, способствуют снижению массы тела, длины тела, а также передних и задних конечностей, изменению индек-

са массы тела (ИМТ), массы и диаметра глаз [27], влияют на пролиферацию гепатоцитов куриных эмбрионов [34]. Инкубирование куриных яиц при постоянном воздействии мобильной связи 2G и 4G привело к морфологическим измерениям куриных эмбрионов, в частности, проявлению перекрещенного клюва, не втянутого желточного мешка, макроцефалии, аномалий развития ног и пальцев на ногах, неспособности стоять и сохранять равновесие, а также к изменениям массы тела, длины тела и длины клюва [1]. Также негативное воздействие проявлялось в виде повреждения ДНК в мозге куриных эмбрионов [11]. Показано, что ЭМИ низкой интенсивности оказывает вредное воздействие на ооциты свиней на стадии созревания и последующее эмбриональное развитие [7]. Также в работе [28], с другой стороны, отмечается, что воздействие радиочастотных ЭМИ снижает количество бластомеров и качество эмбрионов, но не оказывает выраженного неблагоприятного воздействия на развитие эмбрионов КРС. Вместе с тем показано, что воздействие электромагнитных полей резко снижает жизнеспособность эмбрионов мужского пола. В то же время имеются данные, позволяющие предположить, что обработка импульсным электромагнитным полем может оказать положительный эффект на способность к развитию эмбрионов [33].

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно подчеркнуть, что изучение влияния ЭМИ на оплодотворение ооцитов и бластуляции является актуальной задачей. Исследования по изучению влияния ЭМИ на ооциты и эмбрионы *in vitro* немногочисленны, но они позволяют расширить понимание механизмов воздействия ЭМИ на эмбрионы.

Известно, что основной мишенью ионизирующего излучения, например, при лучевой терапии является ДНК, которая очень чувствительна к воздействию ИИ [15, 23, 24, 29].

Прямое действие ИИ на молекулу ДНК приводит к ее окислению и образованию разрывов (одноцепочечных и/или двухцепочечных). В случае нарушения работы систем репарации ДНК разрывы в молекуле могут стать причиной мутации и/или структурной перестройки генома – транслокации, потенциально приводя к формированию несбалансированных геномных нарушений, которые вызывают гибель клеток [22]. Косвенное воздействие ИИ генерирует активные формы кислорода, что, в свою очередь, может вызвать повреждение ДНК [22]. Существуют многочисленные подтверждения того, что у женщин, получавших лечение от рака с помощью облучения брюшной полости, таза или всего тела, наблюдаются необратимое повреждение яичников и потеря примордиальных фолликулов, что приводит к нарушению фертильности и преждевременной менопаузе [14; 20]. Непреднамеренное воздействие во время диагностических процедур уже в период бе-

ременности хотя и создает значительное состояние тревоги, но в большинстве случаев не увеличивает естественный риск врожденных аномалий. Фактически большинство диагностических процедур не предполагает воздействия на плод доз более 0,05 Гр, что считается пороговым уровнем риска [32].

В то же время малые дозы ИИ могут оказывать положительные эффекты на биологические объекты [18]. В более ранних работах мы регистрировали стимулирующий эффект на рост и развитие птенцов облученных инкубационных куриных яиц с дозой 40 сГр до закладки в инкубатор [35].

Сообщалось, что магнитные поля промышленной частоты 50–60 Гц влияют на клеточные функции, пролиферацию и апоптоз [6]. Вместе с тем большинство предыдущих исследований не подтвердили наличие выраженных эффектов или токсичности на культурах клеток мышей и человека в условиях переменного магнитного поля с частотой порядка кГц [18; 35], а также на организменном уровне *in vivo* на взрослых особях крыс [26] на показатели репродуктивной функции и параметры сперматогенеза самцов мышей *in vivo* [19] и развитие плода беременных животных 20 кГц (0.2 мТл) и 60 кГц (0.1 мТл) [25].

Влияние низкочастотных ЭМИ на животных или человека на клеточном и организменном уровнях исследуется на протяжении десятилетий. Известно, что индукционные нагреватели и другие подобные технологии являются универсальными источниками ЭМИ в повседневной жизни и опасения по поводу воздействия ЭМИ на здоровье привлекают все больше внимания. Однако имеется мало информации о его влиянии на жизнеспособность эмбриональных клеток и раннее доимплантационное развитие эмбрионов, а механизм возможного воздействия до сих пор не ясен.

Существует множество исследований воздействия различных источников электромагнитного излучения на фертильность и репродуктивную функцию лабораторных животных и человека. S. Dasdag с соавторами показали, что радиочастотный сигнал частотой 2,4 ГГц, излучаемый оборудованием Wi-Fi в течение 12 месяцев, влияет на функцию яичек самцов-крыс и вызывает изменения их гистологической структуры [8]. Согласно данным N. R. Desai с коллегами, радиочастотные волны, воздействуя на ферменты плазматической мембраны сперматозоидов, вызывают выработку свободных форм кислорода в сперме и снижают активность фермента фосфокиназы, таким образом снижая подвижность и выживаемость сперматозоидов [9]. Мета-анализ исследований *in vitro* на людях по качеству спермы, подвергшейся воздействию ЭМИ, выявил связь между воздействием и вариациями конкретных параметров, в частности, жизнеспособности и подвижности сперматозоидов [10], но Научный

комитет по возникающим и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) поставил под сомнение этот вывод на основании дозиметрических недостатков исследований (SCENIHR 2015). Аналогичным образом, в оценке фактических данных о потенциальных последствиях воздействия ЭМИ SCENIHR выразил мнение, что многочисленные доказательства подтверждают отсутствие влияния радиочастотных полей низкой интенсивности на репродукцию или развитие (SCENIHR 2015). В 2020 году ICNIRP в обновлении своих рекомендаций по ограничению воздействия ЭМИ в диапазоне частот 100 кГц – 300 ГГц (ICNIRP 2020) подтвердил отсутствие неблагоприятного воздействия на фертильность, воспроизводство или развитие человека.

В то же время существуют данные о наличии негативного эффекта от воздействия ЭМИ частот от 50 МГц до 2,5 ГГц на гаметы и ранние эмбрионы лабораторных животных *in vitro* [12; 13; 16]. Облучение эмбрионов мышей низкочастотным ЭМИ 50 Гц привело к снижению формирования blastocyst и уменьшению доли выживших эмбрионов [3]. Таким образом, несмотря на количество экспериментов, проведенных с 1970-х годов, разнообразие подходов к испытаниям и условий воздействия, дозиметрические недостатки не позволяют провести надежную оценку воздействия ЭМИ на развитие ранних эмбрионов, что требует более тщательного изучения.

Поскольку яйцеклетки и ранние доимплантационные эмбрионы относительно более чувствительны к ионизирующему и неионизирующему излучению, так как представляют собой эмбриональные стволовые клетки, мы хотели оценить эффекты от воздействия малых доз ионизирующего и неионизирующего излучения на эмбрионы крупного рогатого скота.

Методология и методы исследования (Methods)

Источники ионизирующего излучения и дозиметры

Первую группу яичников КРС облучали на ускорителе электронов URT-0.5 с использованием алюминиевого поглотителя. Таким образом, образцы подвергались воздействию только тормозного излучения с максимальной энергией 500 кэВ. Определение величины поглощенной дозы производили с помощью термолюминесцентных детекторов ТЛД-500 на основе Al_2O_3 . Мощность дозы составила 0,3 сГр/имп (1 импульс – 50 нс, мощность дозы – 1000 Гр/мин). Варьирование поглощенной дозы осуществлялось с помощью увеличения количества импульсов. При проведении эксперимента контрольная группа яичников транспортировалась и находилась в тех же условиях без облучения.

Магнитное излучение

Для оценки воздействия техногенного фактора от магнитного излучения на яичники КРС ис-

пользовали катушку ДК-33 220В, 50 Гц. Измерение параметров магнитного поля производили при помощи датчика Холла. В результате генерировалось магнитное поле с индукцией 2–10 мкТл (в центре соленоида), измеренное датчиком Холла. Схема эксперимента выглядела следующим образом: яичник располагался внутри катушки и подвергался воздействию магнитного поля в течение 1 минуты. Контрольная группа яичников транспортировалась и находилась в тех же условиях без воздействия магнитного поля.

Электромагнитное излучение. Хроническое облучение

Для оценки продолжительного воздействия техногенного фактора от ЭМИ на жизнеспособность эмбрионов КРС использовали маршрутизатор Xiaomi Mi Wi-Fi Router с рабочей частотой 2,4 ГГц (поддержка протокола IEEE 802.11n, максимальная возможная скорость – 300 Мбит/с) и 5 ГГц Wi-Fi 5 ГГц (поддержка протокола IEEE 802.11ac, максимальная возможная скорость – 867 Мбит/с) с 4 внешними всенаправленными антеннами (две антенны 2,4 ГГц с максимальным усилением 5 дБи; две антенны 5 ГГц с максимальным усилением 6 дБи). Измерение ЭМИ производили при помощи детектора RIXET XR-3121 (5 Гц – 3,5 ГГц). До момента включения Wi-Fi оборудования провели измерения уровней ЭМИ. Все параметры ЭМИ были ниже уровня чувствительности прибора и, соответственно, ниже предельно допустимого уровня.

Для проведения эксперимента маршрутизатор помещали внутрь CO_2 -инкубатора для культивирования эмбрионов. Непосредственно над устройством для таймлапс-съемки развития эмбрионов КРС (PrimoVision) располагался маршрутизатор, работающий на частоте 2,4 ГГц и оказывающий воздействие на образцы (рис. 1). Эмбрионы крупного рогатого скота подвергали воздействию ЭМИ с момента оплодотворения до формирования blastocyst (до 8 суток развития). Облучение производили только в режиме 2,4 ГГц. Контрольную группу эмбрионов культивировали в аналогичном CO_2 -инкубаторе в сходных условиях без маршрутизатора. В таблице 1 представлены измеренные показатели полей у контрольной и экспериментальной группы.

Забор ооцитов

Яичники коров отбирали постмортально при убое скота на специализированном убойном пункте и транспортировали в лабораторию с поддержанием температуры +37...+38 °С в течение 3–4 часов после получения. Визуализируемые фолликулы от 2 до 8 мм аспирировали с помощью иглы 18G [1]. При работе с ооцит-кумулятивными комплексами вне инкубатора использовали буферную среду G-MOPS (Vitrolife, Sweden) предварительно нагретую до 38,5 °С.

Таблица 1
Уровни электромагнитного излучения от Wi-Fi-оборудования

Группа	Плотность потока, мкВт/см ²	Электрическое поле, В/м	Магнитное поле, мкТл
Экспериментальная	424–954	40–60	< 0,09
Контрольная	< 1,06	< 2	< 0,09

Table 1
EMR levels of Wi-Fi-router

Group	Flux density, $\mu W/cm^2$	Electric field, V/m	Magnetic field, μT
Experimental	424–954	40–60	< 0.09
Control	< 1.06	< 2	< 0.09

Таблица 2
Результаты культивирования эмбрионов КРС после облучения яичников на УРТ-0.5 с поглощенной дозой 10 сГр

Не сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	68,57 ± 115,81	83,33 ± 103,78
Время второго деления, ч	12,05 ± 4,20	10,21 ± 2,33
Время третьего деления, ч	2,86 ± 2,00	2,04 ± 1,34
Время четвертого деления, ч	14,00 ± 2,78	9,60 ± 1,31
Сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	30,00 ± 12,91	35,00 ± 21,21
Время второго деления, ч	9,21 ± 0,97	10,35 ± 1,91
Время третьего деления, ч	4,13 ± 2,62	4,35 ± 5,16
Время четвертого деления, ч	7,23 ± 4,39	7,50 ± 4,22
Формирование бластоцисты, ч	156,69 ± 5,45	161,49 ± 14,59
Экспандированная бластоциста, ч	168,06 ± 8,61	174,44 ± 18,76
Процент созревания ооцитов, %	58,1	62,5
Процент формирования бластоцист, %	14,30	33,30
Всего эмбрионов в группе	14	21
Общее количество яичников	10	10

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± SE.

Table 2
Results of bovine embryos cultivation after irradiation of the ovaries by URT-0.5 with an absorbed dose of 10 cGy

Embryos that have not formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	68.57 ± 115.81	83.33 ± 103.78
from 2 to 3 cells, h	12.05 ± 4.20	10.21 ± 2.33
from 3 to 4 cells, h	2.86 ± 2.00	2.04 ± 1.34
from 4 to 5 cells, h	14.00 ± 2.78	9.60 ± 1.31
Embryos that formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	30.00 ± 12.91	35.00 ± 21.21
from 2 to 3 cells, h	9.21 ± 0.97	10.35 ± 1.91
from 3 to 4 cells, h	4.13 ± 2.62	4.35 ± 5.16
from 4 to 5 cells, h	7.23 ± 4.39	7.50 ± 4.22
Blastocyst formation, h	156.69 ± 5.45	161.49 ± 14.59
Expanded blastocyst, h	168.06 ± 8.61	174.44 ± 18.76
Percentage of oocyte maturation, %	58.1	62.5
Percentage of blastocyst formation, %	14.30	33.30
Total count of embryos	14	21
Total count of ovaries	10	10

Note. Data are presented as mean ± SE.

Результаты культивирования эмбрионов КРС после облучения яичников на УРТ-0.5 с поглощенной дозой 25 сГр

Не сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	40,63 ± 62,23	24,17 ± 11,65
Время второго деления, ч	10,20 ± 3,36	10,43 ± 2,58
Время третьего деления, ч	5,41 ± 4,17	13,05 ± 37,60
Время четвертого деления, ч	19,07 ± 23,64	24,18 ± 19,39
Сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	24,58 ± 15,16	20,00 ± 14,14
Время второго деления, ч	8,40 ± 0,33	10,05 ± 2,05
Время третьего деления, ч	0,85 ± 0,21	1,05 ± 0,78
Время четвертого деления, ч	21,25 ± 18,74	8,92 ± 2,24
Формирование бластоцисты, ч	149,95 ± 0,38	159,75 ± 10,71
Экспандированная бластоциста, ч	158,83 ± 4,0	177,13 ± 12,34
Процент созревания ооцитов, %	77,8	87,5
Процент формирования бластоцист, %	11,11	24,29
Всего эмбрионов в группе	18	14
Общее количество яичников	11	11

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± SE.

Table 3

Results of bovine embryos cultivation after irradiation of the ovaries by URT-0.5 with an absorbed dose of 25 cGy

Embryos that have not formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	40.63 ± 62.23	24.17 ± 11.65
from 2 to 3 cells, h	10.20 ± 3.36	10.43 ± 2.58
from 3 to 4 cells, h	5.41 ± 4.17	13.05 ± 37.60
from 4 to 5 cells, h	19.07 ± 23.64	24.18 ± 19.39
Embryos that formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	24.58 ± 15.16	20.00 ± 14.14
from 2 to 3 cells, h	8.40 ± 0.33	10.05 ± 2.05
from 3 to 4 cells, h	0.85 ± 0.21	1.05 ± 0.78
from 4 to 5 cells, h	21.25 ± 18.74	8.92 ± 2.24
Blastocyst formation, h	149.95 ± 0.38	159.75 ± 10.71
Expanded blastocyst, h	158.83 ± 4.0	177.13 ± 12.34
Percentage of oocyte maturation, %	77.8	87.5
Percentage of blastocyst formation, %	11.11	24.29
Total count of embryos	18	14
Total count of ovaries	11	11

Note. Data are presented as mean ± SE.

Созревание ооцитов in vitro maturation (IVM)

Применяли специализированную среду промышленного производства для созревания ооцитов крупного рогатого скота (КРС) ВО-IVM (IVF-Bioscience, UK). Среду покрывали минеральным маслом для клеточных культур (Sage, США). Ооцит-кумулосные комплексы помещали в среду созревания на 24–26 часов при уровне углекислого газа 6,5 %, кислороде – 5,0 % при температурном режиме 38,5 °С.

Обработка спермы

Для экстракорпорального оплодотворения использовали криоконсервированные сперматозоиды быка, замороженные в пайетах объемом 0,5 мл. Пайеты размораживали при температуре 37 °С в течение 30 секунд. Обработку сперматозоидов прово-

дили центрифугированием в 3 мл 80-процентного Percoll (Irvine Scientific) в течение 15 минут 400 g при комнатной температуре. Осадок сперматозоидов после центрифугирования промывали буферной средой, содержащей 3 МЕ гепарина в течение 10 минут при 200 g.

In vitro оплодотворение

После центрифугирования и отмывки сперматозоиды в концентрации $1,0\text{--}2,0 \times 10^6$ подвижных сперматозоидов в 1 мл вносили в среду оплодотворения ВО-IVF (IVF-Bioscience, UK) с ооцит-кумулосными комплексами [2]. Инкубировали, покрыв среду минеральным маслом для клеточных культур (Sage), при температурном режиме 38,5 °С, уровне углекислого газа 6,5 об.%, кислорода – 5,0 об.%.

Покадровая съемка и культивирование эмбрионов

Через 16–18 часов ооцит-кумулюсные комплексы очищали от клеток кумулюса и сперматозоидов. Чистку проводили специализированными пипетками для денудирования диаметром 170 мкм Flexipet Denuding Pipette (Cook, Australia). Эмбрионы культивировали в среде VO-IVC (IVF-Bioscience, UK) при температурном режиме 38,5 °С, уровне углекислого газа 6,5 об.%, кислорода – 5,0 об.% под маслом весь период развития до стадии бластоцисты, что составило около 170–180 часов после оплодотворения.

Съемку изображений проводили в системе Primo Vision (Vitrolife, Швеция) [21]. Primo Vision – компактный цифровой инвертированный микроскоп со встроенной оптикой, контрастом Хоффмана и светодиодной подсветкой зеленого цвета (550 нм), помещенный внутрь инкубатора. Культивирование производилось в специальных чашках, вмещающих до 16 эмбрионов. Система производила 1 снимок каждые 10 минут. Все полученные изображения сохраняли для последующего анализа.

Статистическая обработка

Статистическую обработку проводили в программе Statistica 10.0 методами непараметрического анализа с определением достоверности различий по U-критерию Манна – Уитни.

Результаты (Results)

Согласно полученным данным морфо-кинети-ческих параметров развития, не выявлено достоверных отличий по показателям дробления между контрольными эмбрионами и эмбрионами, полученными после воздействия на яичники УРТ-0.5 с поглощенной дозой 10 сГр. Не отмечено отличий в уровне дозревания ооцитов и в эффективности оплодотворения (таблица 2). Однако есть тенденция к снижению количества эмбрионов, достигших стадии бластоцисты после облучения яичников ИИ с поглощенной дозой 10сГц (рис. 1).

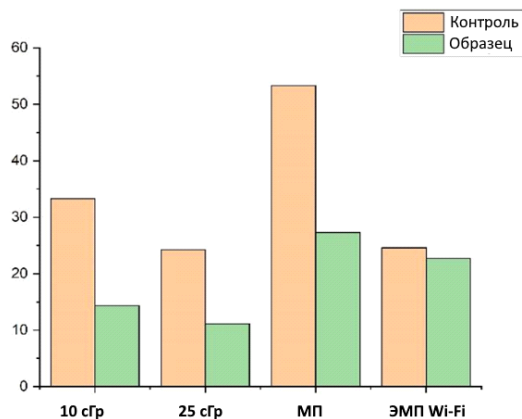


Рис. 1. Влияние облучения проб ИИ (10 и 25 сГр), магнитным полем (МП) и устройствами Wi-Fi 2,4 ГГц (ЭМП Wi-Fi) на уровень формирования бластоцист

Не выявлено достоверных отличий по показателям дробления между контрольными эмбрионами и эмбрионами, полученными после воздействия на яичники УРТ-0.5 с поглощенной дозой 25 сГр. Не отмечено значимых отличий в уровне дозревания ооцитов и в эффективности оплодотворения (таблица 3). Однако есть тенденция к снижению количества эмбрионов, достигших стадии бластоцисты после облучения яичников ИИ с поглощенной дозой 25 сГр (рис. 1).

Согласно полученным данным морфо-кинети-ческих параметров развития, достоверно увеличилась продолжительность цитокинеза в случае воздействия на яичник магнитным полем (таблица 4). Также отмечается явная тенденция к снижению уровня дозрений ооцитов и уменьшению количества эмбрионов, достигших стадии бластоцисты после воздействия на яичники магнитным полем (рис. 1).

Выявлено незначительное укорочение времени между вторым и третьим делениями эмбриона (от стадии трех клеток до стадии четырех клеток). Не отмечено разницы по уровню формирования бластоцист между группами при продолжительном воздействии ЭМИ весь период культивирования эмбрионов in vitro (таблица 5).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Ионизирующее излучение

В нашей работе мы проводили облучение яичников КРС двумя дозами: 10 сГр и 25 сГр. Мы не обнаружили различий в уровне созревания ооцитов между группами. Созревание ооцита заключается в возобновлении процесса мейоза от диплотены профазы I к метафазе II – стадии, когда ооцит приобретает способность к оплодотворению. Результаты нашего исследования показали, что сопоставимые с контрольными уровни созревания ооцитов выявлены в обеих протестированных дозах ИИ. Однако это не означает высокую компетентность ооцитов к дальнейшему оплодотворению и дроблению и отсутствие повреждений ДНК.

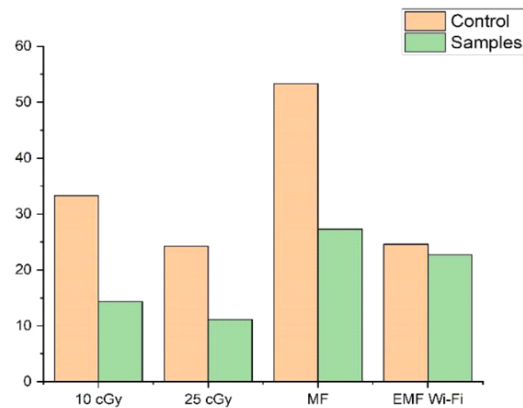


Fig. 1. The effects of irradiation samples by IR (10 and 25 cGy), magnetic field (MF) and Wi-Fi devices 2.4 GHz (EMF Wi-Fi) on the level of blastocyst formation

Результаты культивирования эмбрионов КРС после облучения яичников магнитным полем от катушки

Не сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	50,00 ± 85,02	178,57 ± 209,58
Время второго деления, ч	12,39 ± 4,75	10,24 ± 4,75
Время третьего деления, ч	2,10 ± 3,12	2,08 ± 2,06
Время четвертого деления, ч	7,67 ± 2,88	8,67 ± 2,31
Сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	30,00 * ± 10,91	17,50 ± 4,63
Время второго деления, ч	10,06 ± 2,31	8,54 ± 2,63
Время третьего деления, ч	3,06 ± 4,28	1,58 ± 1,83
Время четвертого деления, ч	11,09 ± 2,01	7,67 ± 1,87
Формирование бластоцисты, ч	160,91 ± 5,34	161,07 ± 7,41
Экспандированная бластоциста, ч	166,87 ± 4,44	170,44 ± 8,52
Процент созревания ооцитов, %	56,7	84,6
Процент формирования бластоцист, %	27,27	53,33
Всего эмбрионов в группе	11	15
Общее количество яичников	10	10

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± SE.

(*) в одном и том же ряду указывают на значительные различия ($P < 0,05$) между двумя группами.

Table 4

Results of bovine embryos cultivation after irradiation of the ovaries with a magnetic field from a coil

Embryos that have not formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	50.00 ± 85.02	178.57 ± 209.58
from 2 to 3 cells, h	12.39 ± 4.75	10.24 ± 4.75
from 3 to 4 cells, h	2.10 ± 3.12	2.08 ± 2.06
from 4 to 5 cells, h	7.67 ± 2.88	8.67 ± 2.31
Embryos that formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	30.00 * ± 10.91	17.50 ± 4.63
from 2 to 3 cells, h	10.06 ± 2.31	8.54 ± 2.63
from 3 to 4 cells, h	3.06 ± 4.28	1.58 ± 1.83
from 4 to 5 cells, h	11.09 ± 2.01	7.67 ± 1.87
Blastocyst formation, h	160.91 ± 5.34	161.07 ± 7.41
Expanded blastocyst, h	166.87 ± 4.44	170.44 ± 8.52
Percentage of oocyte maturation, %	56.7	84.6
Percentage of blastocyst formation, %	27.27	53.33
Total count of embryos	11	15
Total count of ovaries	10	10

Note. Data are presented as mean ± SE.

(*) in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) between the two groups.

Наблюдение и покадровая съемка ранних этапов развития эмбрионов КРС осложняются высокой концентрацией липидных гранул в ооцитах и эмбрионах, что затрудняет визуализацию пронуклеусов, оценку оплодотворения и мультинуклеации в видимом спектре. Тем не менее таймлапс-культивирование эмбрионов позволяет получить максимальное количество информации о развитии, в том числе точное время деления и такие морфологические нарушения, которые не наблюдаются при традиционной оценке эмбрионов: реверсивное деление, деление бластомеров более чем на 2 клетки и т. д. Мы не выявили выраженных изменений после облучения ИИ 10 сГр и 25 сГр в морфодинамических показателях дробления эмбрионов КРС, а именно в

скорости делений, уровне фрагментации и вакуолизации. Наши данные позволяют предполагать, что ИИ не влияет на скорость дробления эмбриона, то есть не изменяет длину клеточного цикла.

Однако отмечена явная тенденция к снижению уровня формирования бластоцист во всех группах эмбрионов, полученных после облучения яичников ИИ, что может быть свидетельством нарушений эмбрионального ДНК, приводящих к формированию нежизнеспособных эмбрионов, останавливающихся в развитии на ранних доимплантационных стадиях. Полученные результаты могут являться свидетельством гиперрадиочувствительности ооцитов млекопитающих [4; 18], однако для получения достоверного результата требуются дальнейшие исследования.

Таблица 5

Результаты культивирования эмбрионов КРС при продолжительном воздействии ЭМИ от роутера 2,4 ГГц весь период культивирования (190 часов)

Биология и биотехнологии

Не сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	50,24 ± 120,01	22,13 ± 23,38
Время второго деления, ч	9,81* ± 3,48	11,90* ± 5,00
Время третьего деления, ч	1,86 ± 2,02	3,55 ± 2,79
Время четвертого деления, ч	9,51 ± 2,79	12,25 ± 11,48
Сформировали бластоцисту	Опыт	Контроль
Длительность первого деления, мин.	26,67 ± 23,48	22,67 ± 34,94
Время второго деления, ч	8,92 ± 1,51	8,70 ± 1,43
Время третьего деления, ч	0,60 ± 0,43	1,76 ± 2,29
Время четвертого деления, ч	9,21 ± 2,43	6,66 ± 3,15
Формирование бластоцисты, ч	165,38 ± 14,48	166,38 ± 11,81
Экспандированная бластоциста, ч	172,60 ± 43,77	178,45 ± 29,63
Процент формирования бластоцист, %	22,72	24,59
Всего эмбрионов в группе	66	61
Общее количество яичников	20	20

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± SE.

(* в одном и том же ряду указывают на значительные различия ($P < 0,05$) между двумя группами.

Table 5

Results of bovine embryos cultivation under prolonged exposure to EMR from a 2.4 GHz router for the entire cultivation period (190 hours)

Embryos that have not formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	50.24 ± 120.01	22.13 ± 23.38
from 2 to 3 cells, h	9.81* ± 3.48	11.90* ± 5.00
from 3 to 4 cells, h	1.86 ± 2.02	3.55 ± 2.79
from 4 to 5 cells, h	9.51 ± 2.79	12.25 ± 11.48
Embryos that formed a blastocyst	Experimental group	Control group
Duration of the first division, min	26.67 ± 23.48	22.67 ± 34.94
from 2 to 3 cells, h	8.92 ± 1.51	8.70 ± 1.43
from 3 to 4 cells, h	0.60 ± 0.43	1.76 ± 2.29
from 4 to 5 cells, h	9.21 ± 2.43	6.66 ± 3.15
Blastocyst formation, h	165.38 ± 14.48	166.38 ± 11.81
Expanded blastocyst, h	172.60 ± 43.77	178.45 ± 29.63
Percentage of blastocyst formation, %	22.72	24.59
Total count of embryos	66	61
Total count of ovaries	20	20

Note. Data are presented as mean ± SE.

(* in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$) between the two groups.

Магнитное излучение

Мы исследовали чувствительность яичников КРС к низкочастотным магнитным полям. Обнаружили, что воздействие магнитного поля на яичники вызывает небольшое, но значимое ($P < 0,05$) увеличение длительности деления эмбриона: от момента появления борозды дробления до формирования двухклеточного эмбриона. Кроме того, отмечена тенденция к снижению уровней созревания ооцитов и формирования бластоцист, что свидетельствует об увеличении показателя дегенерации ооцитов и эмбрионов КРС. Наши данные согласуются с результатами, обнаруженными на мышиных эмбрионах, полученных методом ЭКО, после воздействия магнитным полем [3]. Авторы также сообщили о снижении уровня формирования бластоцист и снижении выживаемости эмбрионов и предположили, что именно эмбрионы после ЭКО наиболее чувствительны к воздействиям магнитного поля на самых ранних стадиях развития [3].

Неионизирующее электромагнитное излучение

Согласно полученным нами данным, ЭМИ, воздействующее весь период культивирования *in vitro* от момента оплодотворения до стадии бластоцисты, не оказывало значимого влияния на морфокинетические показатели дробления эмбрионов КРС. Продолжительность клеточных циклов и образование бластоцист не изменились по сравнению с контрольной группой. Стоит отметить, что немногие исследования были сосредоточены на влиянии ЭМИ на ранние доимплантационные эмбрионы при ЭКО. В то же время, учитывая активное развитие технологий *in vitro* fertilization как у человека, так и у сельскохозяйственных животных, вопрос воздействия ЭМИ на эмбриональные клетки вне организма матери, безусловно, представляет интерес.

Есть данные, что ЭМИ 50 Гц 3 мТл оказывает вредный эффект на репродуктивную систему взрослых самок крыс, на часть фолликулов и клетки гранулезы, а именно приводит к увеличению

уровня дегенерации ооцитов и гранулезных клеток *in vivo* [30]. Анализ с помощью трансмиссионной электронной микроскопии гранулезных клеток самок крыс после воздействия ЭМИ показал увеличение количества макрофагов и вакуолей в клетках гранулезы [31]. Можно предполагать, что ЭМИ при воздействии на взрослых самок ускоряет процесс апоптоза в яичниках. Сообщалось также о влиянии ЭМИ на уровень имплантации и развитие плода. Так, во время спаривания с самками мышей, подвергавшихся воздействию частоты 50 Гц и интенсивности 0,5 мТл в течение 4 часов в день на протяжении двух недель, наблюдалось значительное снижение количества бластоцист и увеличение фрагментации ДНК [5]. Это исследование показало, что воздействие ЭМИ на организм самки может оказывать пагубное воздействие на развитие эмбрионов *in vivo*. Поэтому особый интерес изучения представляют эффекты, наблюдаемые от других техногенных источников ЭМИ с частотами выше 50 Гц, воздействующие на ранние эмбрионы *in vitro* вне организма самки.

Наши результаты показывают, что прямое воздействие ЭМИ от маршрутизатора 2,4 ГГц на эмбрионы предимплантационной стадии не оказывает пагубного эффекта на развитие эмбрионов и не снижает количество бластоцист, формирующихся *in vitro*.

Об авторах:

Валерия Андреевна Макутина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-1127-2792, AuthorID 612436. *E-mail: makutina_v@rambler.ru*

Руслан Альбертович Вазиров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5392-0386, AuthorID 1035759

Анна Сергеевна Кривоногова, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239. *E-mail: tel-89826512934@yandex.ru*

Ирина Михайловна Донник, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8349-3004, AuthorID 31378.

E-mail: ktqrjp7@yandex.ru

Альбина Геннадьевна Исаева, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

Максим Валерьевич Петропавловский, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. *E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru*

References

1. Augustianath T., Evans D. A., Anisha G. S. Teratogenic effects of radiofrequency electromagnetic radiation on the embryonic development of chick: A study on morphology and hatchability. *Research in Veterinary Science*. 2023; 159: 93–100. DOI: 10.1016/j.rvsc.2023.04.015.
2. Barkova A. S., Makutina V. A., Modorov M. V., Isaeva A. G., Krivonogova A. S. Features of the preparation of biological material for genome editing in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 12 (191): 40–44. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-40-4.

3. Beraldi R., Sciamanna I., Mangiacasale R., Lorenzini R., Spadafora C. Mouse early embryos obtained by natural breeding or in vitro fertilization display a differential sensitivity to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutation Research – Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2003; 538 (1-2): 63–70.
4. Bodgi L., Foray N. The nucleo-shuttling of the ATM protein as a basis for a novel theory of radiation response: Resolution of the linear-quadratic model. *International Journal of Radiation Biology*. 2016; 92 (3): 117–131.
5. Borhani N., Rajaei F., Salehi Z., Javadi A. Analysis of DNA fragmentation in mouse embryos exposed to an extremely low-frequency electromagnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2011; 30 (4): 246–252.
6. Chen Y., Hong L., Zeng Y., Shen Y., Zeng Q. Power frequency magnetic fields induced reactive oxygen species-related autophagy in mouse embryonic fibroblasts. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 2014; 57: 108–114. DOI: 10.1016/j.biocel.2014.10.013.
7. Chen J. S., et al. Effects of electromagnetic waves on oocyte maturation and embryonic development in pigs. *Journal of Reproduction and Development*. 2021; 67 (6): 392–401. DOI: 10.1262/jrd.2021-074.
8. Dasdag S., Taş M., Zulkuf Akdag M., Yegin K. Effect of long-term exposure of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on testes functions. *Electromagnetic Biology and Medicine*. 2015; 34: 37–42. DOI: 10.3109/15368378.2013.869752.
9. Desai N. R., Kesari K. K., Agarwal A. Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2009; 7 (114): 1–9. DOI: 10.1186/1477-7827-7-114.
10. Dama M. S., Bhat M. N. Mobile phones affect multiple sperm quality traits: a meta-analysis. *F1000Research*. 2013; 2: 40. DOI: 10.12688/f1000research.2-40.v1.
11. D’Silva M. H., et al. Assessment of DNA Damage in Chick Embryo Brains Exposed to 2G and 3G Cell Phone Radiation using Alkaline Comet Assay Technique. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*. 2021; 15; 1. DOI: 10.7860/JCDR/2021/47115.14441.
12. Cameron I. L., Hardman W. E., Wendell D. W., Zimmerman S., Zimmerman A. M. Environmental magnetic fields: Influences on early embryogenesis. *Journal of Cellular Biochemistry*. 1993. DOI: 10.1002/jcb.2400510406.
13. Gamze A., Ömür G. D., Kıymet K. Y., Devra D., Süleyman K. Effects of mobile phone exposure on metabolomics in the male and female reproductive systems. *Environmental Research*. 2018; 167: 700–707. DOI: 10.1016/j.envres.2018.02.031.
14. Hessels A. C., Langendijk J. A., Gawryszuk A., Heersters M. A. A. M., van der Salm N. L. M., Tissing W. J. E., van der Weide H. L., Maduro J. H. Review – late toxicity of abdominal and pelvic radiotherapy for childhood cancer. *Radiotherapy and Oncology*. 2022; 170: 27–36. DOI: 10.1016/j.radonc.2022.02.029.
15. Hosseinimehr S. J. The protective effects of trace elements against side effects induced by ionizing radiation. *Radiotherapy and Oncology*. 2015; 33 (2): 66–74.
16. Kocaman A., Altun G., Kaplan A. A., Deniz Ö. G., Yurt K. K., Kaplan S. Genotoxic and carcinogenic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Environmental Research*. 2018; 163: 71–79. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.034.
17. Koyama S., Narita E., Shinohara N., Miyakoshi J. Effect of an intermediate-frequency magnetic field of 23 kHz at 2 mT on chemotaxis and phagocytosis in neutrophil-like differentiated human HL-60 cells. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014; 11: 9649–9659.
18. Baatout S. (ed.). *Radiobiology: textbook*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2023. 667 p. DOI: 10.1007/978-3-031-18810-7.
19. Kumari K., Capstick M., Cassara A.M., Herrala M., Koivisto H., Naarala J., Tanila H., Viluksela M., Juutilainen J. Effects of intermediate frequency magnetic fields on male fertility indicators in mice. *Environmental Research*. 2017; 157: 64–70. DOI: 10.1016/j.envres.2017.05.014.
20. Levine J. M., Whitton J. A., Ginsberg J. P., Green D. M., Leisenring W. M., Stovall M., Robison L. L., Armstrong G. T., Sklar C. A. Nonsurgical premature menopause and reproductive implications in survivors of childhood cancer: a report from the childhood cancer survivor study. *Cancer*. 2018; 124 (5): 1044–1052. DOI: 10.1002/cncr.31121.
21. Makutina V. A., Krivonogova A. S., Isaeva A. G., Moiseeva K. V., Petropavlovsky M. V. Morphokinetic development parameters of cattle pre-implantation embryos in vitro. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies (ITJEMAST)*. 2022; 13 (6): 1–9. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2022.111.
22. Mavragani I. V., Nikitaki Z., Kalospyros S. A., Georgakilas A. G. Ionizing radiation and complex DNA damage: from prediction to detection challenges and biological significance. *Cancers*. 2019; 11 (11): 1789. DOI: 10.3390/cancers11111789.

23. Mladenova V., Mladenov E., Stuschke M., Iliakis G. DNA Damage Clustering after Ionizing Radiation and Consequences in the Processing of Chromatin Breaks. *Molecules*. 2022; 27 (5): 1540. DOI: 10.3390/molecules27051540.
24. Meador J. A., Morris R. J., Balajee A. S. Ionizing Radiation-Induced DNA Damage Response in Primary Melanocytes and Keratinocytes of Human Skin. *Cytogenetic and Genome Research*. 2022; 162 (4): 188–200. DOI: 10.1159/000527037.
25. Nishimura I., Oshima A., Shibuya K., Negishi T. Lack of teratological effects in rats exposed to 20 or 60 kHz magnetic fields. *Birth Defects Research Part B – Developmental and Reproductive Toxicology Overview*. 2011; 92: 469–477.
26. Nishimura I., Oshima A., Shibuya K., Mitani T., Negishi T. Acute and subchronic toxicity of 20 kHz and 60 kHz magnetic fields in rats. *Journal of Applied Toxicology*. 2016; 36: 199–210.
27. Omar Azzouz S., et al. Morphological changes in chick embryos development exposed to electromagnetic radiation emitted by smart mobile phones. *Advanced Materials Letters*. 2020; 11. 5: 1–8. DOI: 10.5185/amlett.2020.051510.
28. Önal A. G., Güzey Y. Z. Effects of exposure to 2G/3G cell phone radiation on in vitro fertilization, subsequent development and sex distribution of bovine embryos. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 2023; 28. 2: 427–437. DOI: 10.37908/mkutbd.1205044.
29. Park J. I., Jung S. Y., Song K. H., Lee D. H., Ahn J., Hwang S. G., Jung I. S., Lim D. S., Song J. Y. Predictive DNA damage signaling for low-dose ionizing radiation. *International Journal of Molecular Medicine*. 2024; 53 (6): 56. DOI: 10.3892/ijmm.2024.5380.
30. Roshangar L., Hamdi B. A., Khaki A. A., Soleimani R. J., Soleimani Rad S. Effect of low-frequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular development. *Advanced Biomedical Research*. 2014; 3: 76. DOI: 10.4103/2277-9175.125874.
31. Roshangar L., soleimani Rad J. Electron microscopic study of folliculogenesis after electromagnetic field exposure. *Journal of Reproduction and Infertility*. 2004; 5 (4): 299–307.
32. Santis M. D., Gianantonio E. D., Straface G., Cavaliere A. F., Caruso A., Schiavon F., Berletti R., Clementi M. Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis: A review of literature. *Reproductive Toxicology*. 2005; 20 (3): 323–329.
33. Sharma A. K., et al. Exposure to pulsed electromagnetic fields improves the developmental competence and quality of somatic cell nuclear transfer buffalo (*Bubalus bubalis*) embryos produced using fibroblast cells and alters their epigenetic status and gene expression. *Cellular Reprogramming*. 2021; 23. 5: 304–315. DOI: 10.1089/cell.2021.0028.
34. Siddiqi N. A., et al. Mobile Phone Electromagnetic Fields Affected the Hepatocytes in the White Leghorn Chicken Embryo: An Ultra-Structural Study. *Biomedical and Pharmacology Journal*. 2020; 13 (1): 245–252. DOI: 10.13005/bpj/1882.
35. Vazirov R., Sokovnin S., Musihina N., Moiseeva K. Surface irradiation of hatching eggs with nanosecond electron beam before incubation for stimulation. In *International Scientific and Practical Conference “Digital agriculture-development strategy” ISPC*. 2019. Pp. 482–485. DOI: 10.2991/ispc-19.2019.108.

Authors' information:

Valeriya A. Makutina, candidate of biological sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

ORCID 0000-0003-1127-2792, AuthorID 612436. *E-mail: makutina_v@rambler.ru*

Ruslan A. Vazirov, candidate of biological sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5392-0386, AuthorID 1035759

Anna S. Krivonogova, doctor of biological sciences, associate professor, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239. *E-mail: tel-89826512934@yandex.ru*

Irina M. Donnik, doctor of biological sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8349-3004, AuthorID 31378. *E-mail: ktqrjp7@yandex.ru*

Albina G. Isaeva, doctor of biological sciences, associate professor, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

Maksim V. Petropavlovskiy, doctor of veterinary sciences, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. *E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru*

Стратегические ориентиры обеспечения биобезопасности зерновых в экстремальных условиях изменения климата

И. Ю. Потороко[✉], А. В. Малинин¹, А. М. Я. Кади¹, В. Аньум¹, О. П. Неверова²

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: irina_potoroko@mail.ru

Аннотация. В совокупности эффективных действий для обеспечения продовольственной безопасности и целей устойчивого развития агропромышленного комплекса РФ необходимо определить стратегические ориентиры в целях преобразования агропродовольственных систем на основе концепции ФАО «Безопасные пищевые продукты всегда и для всех». Загрязнение микотоксинами (МТ) пищевых продуктов является глобальной проблемой современности, для Российской Федерации наиболее известными продуцентами МТ являются токсигенные плесени родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*. Наиболее опасными считаются афлатоксины, вырабатываемые плесневыми грибами *Aspergillus flavus* или *A. parasiticus*, благодаря распространенности и гепатотоксическим и канцерогенным свойствам. Цель работы – формирование доказательной базы присутствия токсигенных плесеней в зерновой массе пшеницы, полученной в экстремальных погодных условиях урожая 2023 г., для прогнозирования рисков биобезопасности при переработке. В работе приведены доказательные исследования присутствия токсигенных микромицетов и спрогнозированы риски накопления вторичных метаболитов. Для формирования доказательной базы в исследовании применяли **методы:** молекулярное моделирование типов связей с использованием стратегии докинг-анализа *in silico*; ИК-Фурье-спектроскопию для исследования функциональных групп, определяющих риски присутствия вторичных метаболитов (МТ). **Научная новизна** полученных данных обусловлена применением новых методов для идентификации рисков нарушения биобезопасности зерновых масс в условиях глобального изменения климата. В **результате** применения методов анализа *in silico* в сочетании с визуальной микроскопией; ИК-Фурье-спектроскопии обеспечена идентификация токсигенных плесеней и спрогнозированы риски формирования маскированных форм в углеводно-белковый комплекс эндосперма зерна.

Ключевые слова: токсигенные плесени, докинг-анализ, вторичные метаболиты, климат, биобезопасность

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 24-16-20028.

Для цитирования: Потороко И. Ю., Малинин А. В., Кади А. М. Я., Аньум Вариша, Неверова О. П. Стратегические ориентиры обеспечения биобезопасности зерновых в экстремальных условиях изменения климата // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1334–1344. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1334-1344>.

Дата поступления статьи: 28.07.2024, **дата рецензирования:** 22.08.2024, **дата принятия:** 02.09.2024.

Strategic guidelines for ensuring biosafety of cereals in extreme conditions of climate change

I. Yu. Potoroko[✉], A. V. Malinin¹, A. M. Y. Kadi¹, V. Anjum¹, O. P. Neverova²

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: irina_potoroko@mail.ru

Abstract. Together with effective actions to ensure food security and the goals of sustainable development of the Agro-industrial complex of the Russian Federation, it is necessary to define strategic guidelines for the transformation of agro-food systems, based on the FAO concept of Safe food products always and for everyone. Mycotoxin (MT) contamination of food products is a global problem of our time, for the Russian Federation the most famous producers of MT are toxigenic molds of the genera *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* and *Alternaria*. The most dangerous are aflatoxins produced by the common mold fungi *Aspergillus flavus* or *A. Parasiticus*, due to their prevalence and hepatotoxic and carcinogenic properties. **The purpose** of the study is to form an evidence base for the presence of toxigenic molds in the grain mass of wheat obtained in extreme weather conditions of the 2023 harvest to predict biosafety risks during processing. The paper presents evidence-based studies of the presence of toxigenic micromycetes and predicts the risks of accumulation of secondary metabolites. To form the evidence base, the following **methods** were used in the study: molecular modeling of bond types using the in silico docking analysis strategy; FTIR to study functional groups that determine the risks of the presence of secondary metabolites (MT). **The scientific novelty** of the data obtained is due to the use of new methods to identify the risks of violating the biosafety of grain masses in the context of global climate change. As a **result** of the application of in silico analysis methods in combination with visual microscopy; The identification of toxigenic molds was ensured by FTIR and the risks of the formation of masked forms in the carbohydrate-protein complex of the grain endosperm were predicted.

Keywords: toxigenic molds, docking analysis, secondary metabolites, climate, biosafety

Acknowledgements. The research was carried out with the financial support of a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of the project 24-16-20028.

For citation: Potoroko I. Yu., Malinin A. V., Kadi A. M. Y., Anjum V., Neverova O. P. Strategic guidelines for ensuring biosafety of cereals in extreme conditions of climate change. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1334–1344. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1334-1344>. (In Russ.)

Date of paper submission: 28.07.2024, **date of review:** 22.08.2024, **date of acceptance:** 02.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Продовольственная безопасность РФ является одним из главных факторов обеспечения национальной безопасности страны, ее суверенитета в долгосрочном периоде, а также условием реализации стратегического национального приоритета повышения качества жизни российских граждан путем гарантирования высоких стандартов жизнеобеспечения. Вместе с тем для достижения показателей продовольственной безопасности есть ряд важных объективных проблем текущего периода, которые следует учитывать: во-первых, смягчение рисков глобального потепления климата, которое в последние годы охватывает территории Уральского региона; во-вторых, обеспечение устойчивости рынка продовольственного сырья и продуктов его переработки. В совокупности эффективных действий для целей устойчивого развития агропромышлен-

ного комплекса (АПК) необходимо преобразование агропродовольственных систем на основе принятой FAO в 2021 году концепции «Безопасные пищевые продукты всегда и для всех».

В преломлении к региональным особенностям территорий РФ стратегические ориентиры улучшения качества питания и обеспечения биобезопасности пищевой продукции охватывают прежде всего производство зерна и продуктов его переработки, которые определяют устойчивость позиций страны на мировом и государственном уровнях [1; 2; 5]. Другим по значимости стратегическим ориентиром является минимизация рисков снижения биобезопасности продовольственного сырья, что возможно реализовать на основе мониторинга новых потенциально опасных загрязнителей химической и биологической природы. Данные риски, усугубляемые на фоне применения интенсивных технологий воз-

делывания и глобального изменения климата для зерновых масс, на протяжении многих лет остаются актуальной проблемой. Статистические данные глобальной распространенности новых микотоксинов в сельскохозяйственных культурах и кормах для животных, а также их токсичности для домашнего скота стабильно показывают положительную динамику [6].

Безусловно, значительное увлажнение земельных угодий на фоне интенсивных осадков провоцирует загрязнение токсигенными микромицетами сырья и продуктов его переработки микотоксинами (МТ), что является глобальной проблемой современности, обозначенной в программных документах ФАО. Для территорий Российской Федерации наиболее известными продуцентами регулируемых МТ являются микромицеты родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* и *Alternaria*. Присутствие их вторичных метаболитов в продовольственном зерне урожая 2020 года подтверждено массивом данных, представленных в открытых источниках, прослеживаются устойчивые риски микоинтоксикации для потенциальных потребителей продуктов переработки зерна, причем по отдельным видам установлены весьма критичные значения. Зафиксирован рост частоты обнаружения высоких уровней контаминации МТ разных зерновых масс, а также расширение ареалов распространения токсигенных микромицетов [3; 12].

Фактически в текущий момент идентифицированы сотни микотоксинов, вместе с тем предметом токсикологических исследований и общественного беспокойства для пищевых продуктов и кормов считаются наиболее опасными афлатоксины, вырабатываемые плесневыми грибами *Aspergillus flavus* или *A. parasiticus*, благодаря распространенности и гепатотоксическим и канцерогенным свойствам [4].

Особую озабоченность обуславливают метаданные, полученные группой ученых Таиланда в части распространенности новых форм МТ, которые весьма реалистично доказывают, что новые формы микотоксинов все больше определяют риски для продовольствия. В число новых форм МТ отнесены фузариновая кислота (ФУС), энниатин (ЭНН), кулморин, апицидин, бутенолид, фусапролиферин, токсины альтернариоза, ауурофузарин, эмодин, ниваленол (НИВ), боверицин (БЕА), диацетоксипиренол (ДАС), патулин (РАТ), монилиформин (МОН) и стеригматоцистин. Среди них выделены и идентифицированы наиболее распространенные загрязнители (рис. 1) зерновых и других кормовых культур во всем мире. Отмечаются чрезвычайно высокие вариативности концентрации их накопления. Так, концентрации НИВ, БЕА и ЭНН во всех сельскохозяйственных товарах варьировались от 0,1 до 15 600, от 0,01 до 8 854 и от 0,25 до 10 000 мкг/кг соответственно. Токсическое действие смесей воз-

никающих и регулируемых микотоксинов в настоящий момент изучено недостаточно [7; 12; 17].

Сложно расшифровать дозы, при которых наблюдаются токсические и нетоксические эффекты. Для этой группы соединений необходима кумулятивная оценка риска, особенно при низких уровнях воздействия, чтобы смягчить их влияние на здоровье населения. Как правило, домашний скот (свиньи и птица) демонстрирует более выраженные вредные синергетические и аддитивные эффекты после контакта с кормовыми культурами и комбикормами, контаминированными новыми и регулируемыми микотоксинами, по сравнению с рационами, загрязненными только новыми формами.

Таким образом, существует необходимость в непрерывном и долгосрочном (многолетнем) мониторинге сельскохозяйственной продукции на наличие как новых, так и регулируемых микотоксинов, чтобы гарантировать биобезопасность продуктов питания и кормов в цепочках поставок.

Целью работы является формирование доказательной базы присутствия токсигенных плесеней в зерновой массе пшеницы, полученных в экстремальных погодных условиях урожая 2023 года, для прогнозирования и минимизации рисков биобезопасности при переработке.

Методология и методы исследования (Methods)

Достижение цели работы может быть обеспечено за счет поэтапного решения поставленных задач:

В первом блоке работ на первом этапе исследований в качестве объектов для исследования определены партии зерновых масс мягкой пшеницы из хозяйств, территориально расположенных в трех климатических зонах, подверженных в 2023 году экстремальным погодным условиям на фоне длительных проливных дождей. Образцы зерна пшеницы (образец 1 после обмолота; образцы 2 и 3 после элеваторной сушки) отобраны от партий в соответствии с требованиями НД (согласно ГОСТ 13586.3-2015 и ГОСТ 31904-2012). Критериальные показатели оценки входного контроля состояния включали: влажность, % (ГОСТ 13586.5-2015 «Метод воздушно-тепловой сушки путем высушивания проб зерна при фиксированной температуре до постоянной массы»); количество проросших (испорченных) зерен (визуально, методом количественного выделения фракции); натура, г/л (ГОСТ 10840-2017); микроскопия микромицетов (культивирование на поверхности зерна в условиях избыточной влажности) и пересадка на среду Чапека (агар Чапека (CZA) или среда Чапека – Докса – питательная среда для размножения грибов и других организмов в лабораторных условиях).

На втором этапе на основе оптических результатов макро- и микроскопии микромицетов проводили прогностические исследования идентификации токсигенных плесеней, направленные в последую-

шем на оценку рисков формирования маскированных в белково-углеводный комплекс форм микотоксинов с применением стратегии *in silico*. «Докинг-анализ» молекулярного моделирования типов и силы формируемых связей проводили с использованием AutoDock 4.2. Лиганд МТ был загружен в виде SDF-файлов с 3D-структурой из PubChem и оптимизирован с использованием ввода лигандов в AD 4.2. Оптимизированные молекулы-лиганды МТ были состыкованы с усовершенствованными рецепторами протейна и амилозы с помощью AutoDock 4.2. Стыковку осуществляли с использованием метода генетического алгоритма Ламарка (LGA). Результаты стыковки были проанализированы с использованием инструмента визуализации молекулярной графики PyMOL [5].

Во второй блоке работ проводили исследования для формирования доказательной базы применимой для оценки токсигенных микромицетов в пищевых системах сырья и продуктов. Для этих целей применяли ИК-Фурье-спектроскопию, которая применима для исследования функциональных групп, определяющих обнаружение и идентификацию микроорганизмов и выделяемых метаболитов. Определение осуществляли на основе инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье и получением FTIR-спектров на приборе UV-3600 (Shimadzu, Япония), оснащенный высокочувствительным термостабильным детектором DLATGS. Угол дифракции сканировали при 30 град, целевом напряжении 40 кВ и токе 25 мА. Образцы сканировали в диапазоне волн 4000–400 см⁻¹. Количество сканирований составило 30 для каждого измерения образца, а разрешение – 4 см⁻¹ в трех репликах в режиме поглощения в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера.

Результаты (Results)

В соответствии с методологией исследования входными показателями для исследований были приняты: влажность, %; количество проросших зерен, %; натура, г/л, результаты оценки которых представлены на рис. 2. Следует отметить прежде всего внешнее состояние образцов зерновой массы, которое оценивали визуально; цвет и запах образцов зерна на момент проведения исследований характеризуется значительными отличиями ввиду разности периода выемки партии для исследования и степени подверженности увлажнению. Наблюдались явные признаки солоделого запаха у первого образца, что коррелирует с показателем «влажность».

Выраженность отклонений по состоянию зерен наиболее значима у второго образца, что обусловлено количеством испорченных зерен. Так, в образцах 1 и 2 при явных отклонениях по показателю «количество испорченных зерен» установлено значительное количество проросших зерен (соответственно 23 ± 1,25 % и 46 ± 1,50 %). Именно обозначенные образцы отстают от нормы по показателю «натура», в отличие от третьего образца, имеющего пороговое значение (730 ± 20,5 г/л). Влажность образцов 2 и 3 зерна пшеницы урожая 2023 года находится в пределах регламентируемых значений (11–13 %), а первый образец, выемка которого осуществлялась после обмолота, имеет высокое значение показателя «влажность» – на уровне 21 ± 1,5 %. Полученные результаты свидетельствуют о серьезных отклонениях по показателям качества зерна мягкой пшеницы урожая 2023 года, обмолоченного в южной части территорий региона, фактически зафиксирована его малопродуктивность для продовольственных целей.

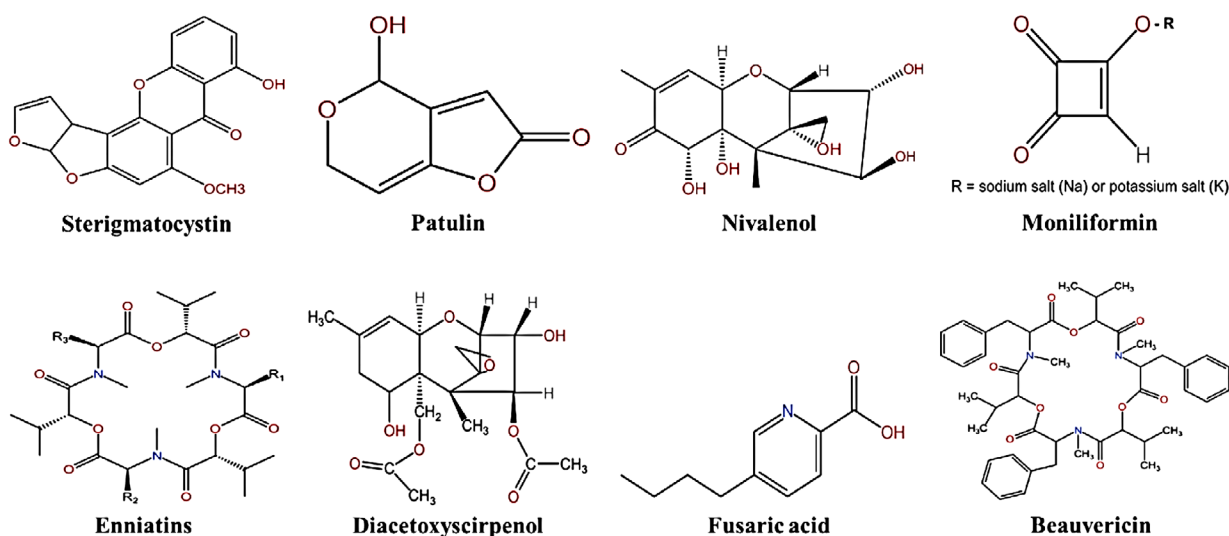


Рис. 1. Химическая структура восьми новых микотоксинов [12]
Fig. 1. Chemical structures of the eight emerging mycotoxins [12]

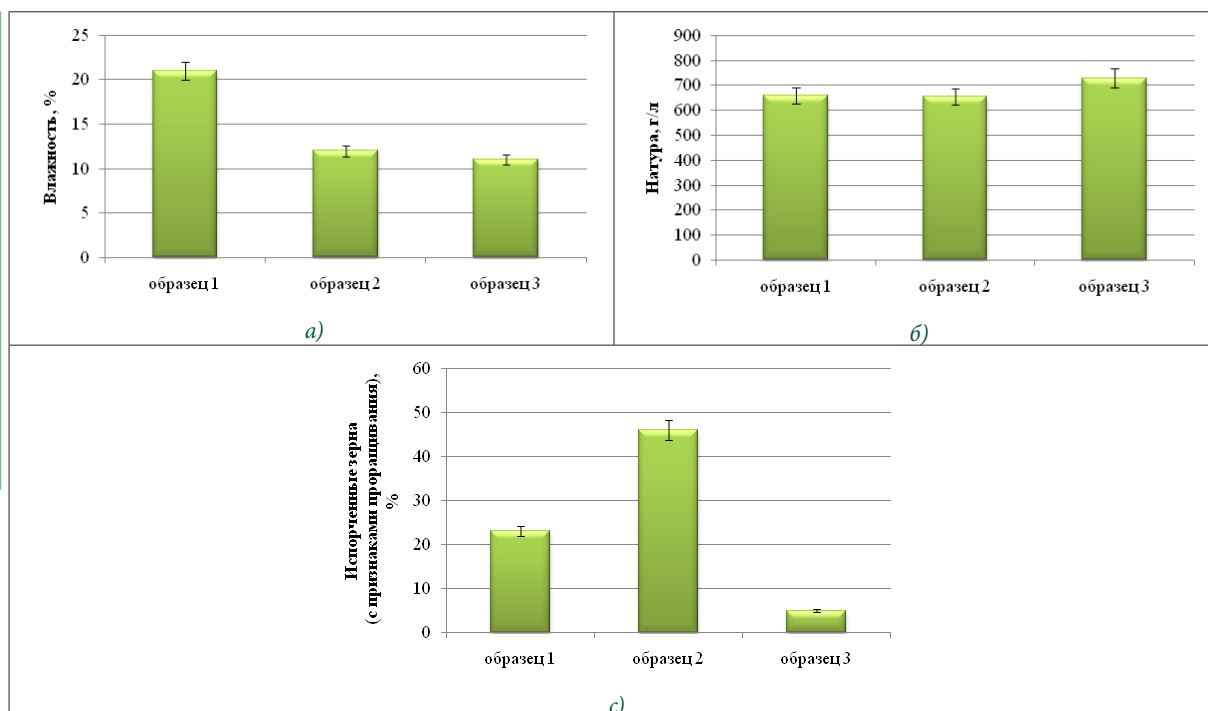


Рис. 2 Результаты оценки контроля качества зерна пшеницы (n = 3):
а) влажность, %; б) натура, г/л; в) фракция испорченных зерен, %

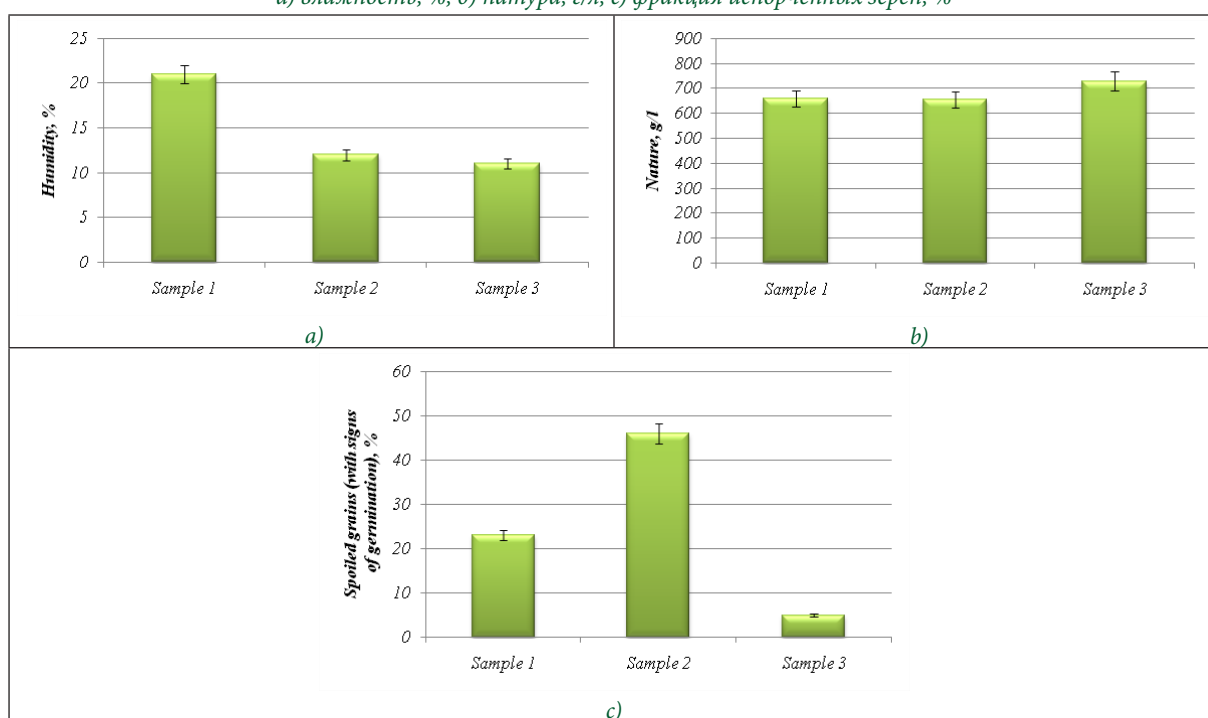


Fig. 2– Results of the assessment of incoming quality control of wheat grain (n = 3):
a) humidity, %; b) natura, g/l; c) spoiled grains (with signs of germination), %

Следующей задачей для установления рисков микоинтоксикации зерновой массы при последующем хранении являлась идентификация представителей мицелиальной микрофлоры, потенциально присутствующей на поверхности зерна. Известно, что несколько факторов влияют на грибковую инвазию, колонизацию, рост и последующее произ-

водство микотоксинов, к значимым благоприятным условиям для роста грибов и выработки микотоксина относятся температура и показатель активности воды (aw), оптимальная температура накопления МТ несколькими формами колеблется от 20 до 30 °С. Результаты тестирования микрофлоры представлены в таблице 1.

Таблица 1
 Результаты микроскопической идентификации микромицетов

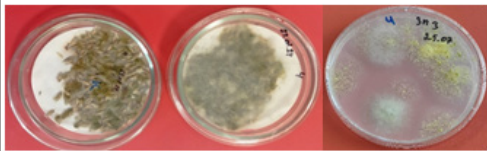
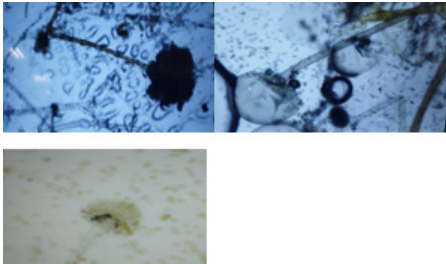

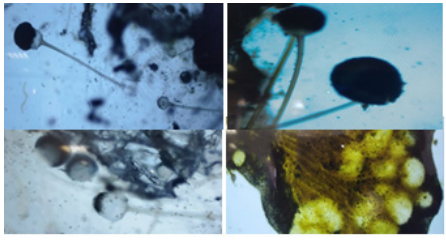

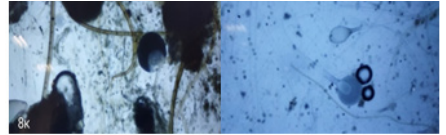
№	Макроскопическая визуализация	Микроскопическая визуализация	Результат идентификации [11; 15; 16]
Образец 1			<i>Aspergillus flavus</i> (yellow); <i>Aspergillus parasiticus</i> ; <i>Mucor</i>
Образец 2			<i>Aspergillus flavus</i> (yellow); <i>Aspergillus parasiticus</i> ; <i>Mucor</i>
Образец 3			<i>Mucor</i> , <i>Alternaria</i>

Table 1
 Results of microscopic identification of micromycetes

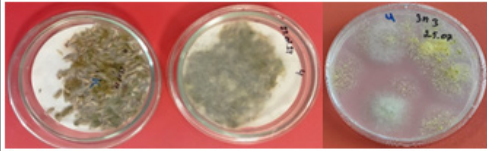
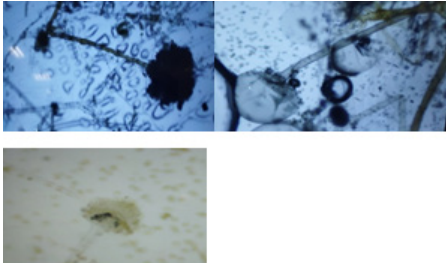

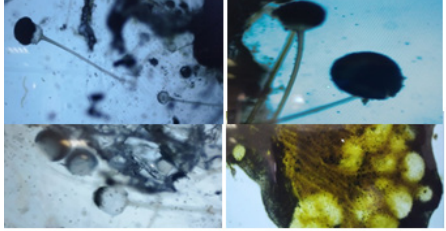

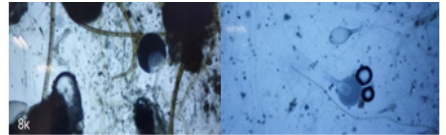
No.	Macroscopic visualization	Microscopic visualization	Result of identification [11; 15; 16]
Sample 1			<i>Aspergillus flavus</i> (yellow); <i>Aspergillus parasiticus</i> ; <i>Mucor</i>
Sample 2			<i>Aspergillus flavus</i> (yellow); <i>Aspergillus parasiticus</i> ; <i>Mucor</i>
Sample 3			<i>Mucor</i> , <i>Alternaria</i>

Таблица 2

Функциональные группы и интенсивность их полос исследуемых токсигенных микромицетов

Область полосы (см ⁻¹)	Функциональная группа	Микромицеты	
		<i>A. flavus</i>	<i>A. parasiticus</i>
570–580	Углеводы (растяжение C-O)	+	+
1020 (900–1200)	Углеводы (растяжение C-O)	++	+
1450–1300	α-гликозидная связь, β-гликозидная связь	+	-
1540	Амид II (растяжение C-N, изгиб NH)	+	+/-
1645	Амид I (растяжение C=O)	++	++
2924	Структура полисахаридных соединений и длинных жирных кислот (растяжение CH ₂)	+	+
3200–3550	Гидроксильные группы (вводная часть)	+++	+++

Table 2

Functional groups and intensity of their bands of the studied toxigenic micromycetes

Band region (cm ⁻¹)	Functional group	Fungus	
		<i>A. flavus</i>	<i>A. parasiticus</i>
570–580	Carbohydrate (C-O stretching)	+	+
1020 (900–1200)	Carbohydrate (C-O stretching)	++	+
1450–1300	α-glycosidic bond, β-glycosidic bond	+	-
1540	Amide II (C-N stretching, NH bending)	+	+/-
1645	Amide I (C=O stretching)	++	++
2924	Structure of polysaccharide compounds and long fatty acids (CH ₂ stretching)	+	+
3200–3550	Hydroxyl groups (or water moiety)	+++	+++

Среди идентифицированных микромицетов следует выделить *Aspergillus flavus* (yellow) и *Aspergillus parasiticus*, продуцирующие наиболее опасные МТ (афлатоксины В1, В2, G1 G2), которые классифицируются как канцерогены первой группы. Важно понимать, что *A. flavus* продуцирует В-афлатоксины, в то время как *A. parasiticus* продуцирует как В-, так и G-формы. Афлатоксины В1, В2, G1 G2 являются естественным метаболитами и достаточно часто идентифицируются в зерновых культурах, особенно в кукурузе, в то время как гидроксильрованные метаболиты АFB1 и АFB2 представляют собой афлатоксины М1 (AFM1) и М2 (AFM2) и мигрируют по трофическим цепям [9; 12; 13; 18].

Проведенное исследование является отправной точкой для последующих работ. В дополнение к макро- и микроскопическим исследованиям были получены результаты ИК-Фурье (таблица 2) спектрального анализа токсигенных плесеней *Aspergillus flavus* (yellow) и *Aspergillus parasiticus*, а также образцов зерна пшеницы исследуемой выборки.

Интенсивность функциональных групп и полос их растяжения, установленная в ИК-спектрах для указанной выборки токсигенных плесеней указывает на характерные функциональные группы [12, 13]. Полосы поглощения на 3430 см⁻¹, 2914 см⁻¹, 1645 см⁻¹, 1541 см⁻¹, 1413 см⁻¹, 1320 см⁻¹, 1041 см⁻¹ и 573 см⁻¹ соответствуют алкогольной О-Н, С-Н, С=О (амидная I-полоса), С-Н (NH-изгиб, амидная II полоса), С-О, антисимметричной α C1-O-C4' и β C1-O-C4' растягивающей вибрации соответственно.

Различные исследователи ранее сообщали про аналогичные наблюдения характерных функциональных групп у вышеупомянутых видов грибов. В нашем случае анализ результатов должен позволить выявить присутствие *Aspergillus ssp.* во всех образцах зерна и спрогнозировать его влияние на микроструктуру зерна (что может быть связано с изменением питательных качеств зерна). Отмечено, что на полосе 2914 см⁻¹, которая соответствует растяжению С-Н, аналогичный пик наблюдается у обоих видов *Aspergillus*, особенно у *A. parasiticus*. Наблюдаемое в спектрах *Aspergillus ssp.* смещение участков О-Н (полоса 3300 см⁻¹) связано с образованием комплекса между грибами и компонентами зерна, то есть может прогнозироваться процесс маскирования [8; 10; 14; 16].

Прорастание зерна в колосе физиологически разрушает целостность плодовых оболочек, появляются фактически «открытые окна» для проникновения микромицетов в эндосперм, богатой питательной среды для активации и, как следствие, накопления вторичных продуктов жизнедеятельности. На этом этапе для возможного подтверждения выдвинутой гипотезы для оценки рисков образования маскированных форм проведено прогнозирование возможности формирования устойчивых связей МТ идентифицированных видов *Aspergillus* с компонентами белково-углеводного комплекса эндосперма зерна. Первым шагом в процедуре прогнозирования с использованием докинг-анализа *in silico* является идентификация и выбор подходящей

мишени или рецептора. В нашем случае получены 3D-модели (рис. 3, 4), позволяющие осуществить прогнозирование возможности образования маскированных форм микотоксинов в белковые и крахмальные конструкции эндосперма зерна.

Было установлено, что основная конструкция формируется на уровне Glutenin +AFLB с наиболее сильными связями (-8.1 Kcal/mol), в то время как молекула амилозы погружена в массив протеина, не соприкасаясь с молекулой AFLB ($-6,5$ Kcal/mol). Следовательно, для осуществления процесса детоксикации необходимо использовать мягкие методы воздействия, чтобы избежать трансформации чувствительных к температурам белковых соединений [5; 12].

Таким образом, экспертная идентификация присутствия афлатоксина В при активном развитии *Aspergillus*, особенно *A. parasiticus*, может обуславливать риски снижения биобезопасности зернового сырья, ограничивать его применение для продовольственных целей, в то время как перевод зерновых масс в фуражное на кормовые цели прежде всего не обеспечит безопасность скота, а продукция животноводческого комплекса скрытые угрозы здоровью потенциальных потребителей.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные комплексные исследования подтвердили возможности применения прогностических исследований для оценки рисков снижения биобезопасности зернового сырья, произведенного в экстремальных условиях глобального потепления климата. Своевременное выявление рисков на основе применения методов макро- и микроскопии зерна в сочетании с использованием метода *in silico* докинг-анализа для молекулярного моделирования типов связей лигандов МТ с усовершенствованными рецепторами протеина и амилозы позволили выявить маскированные формы МТ (афлатоксин В), связанные с компонентами эндосперма зерна пшеницы. Вторичные метаболиты токсигенных микромицетов *A. flavus* или *A. parasiticus*, который классифицируется как канцерогены первой группы токсичности, при нарушении целостности могут эффективно маскироваться в зернах проросшей в колосе в экстремальных условиях пшеницы. Установлено, что основная конструкция формируется на уровне Glutenin +AFLB с наиболее сильными связями (-8.1 Kcal/mol), в то время как молекула α -амилозы погружена в массив протеина, не соприкасаясь с молекулой AFLB ($-6,5$ Kcal/mol).

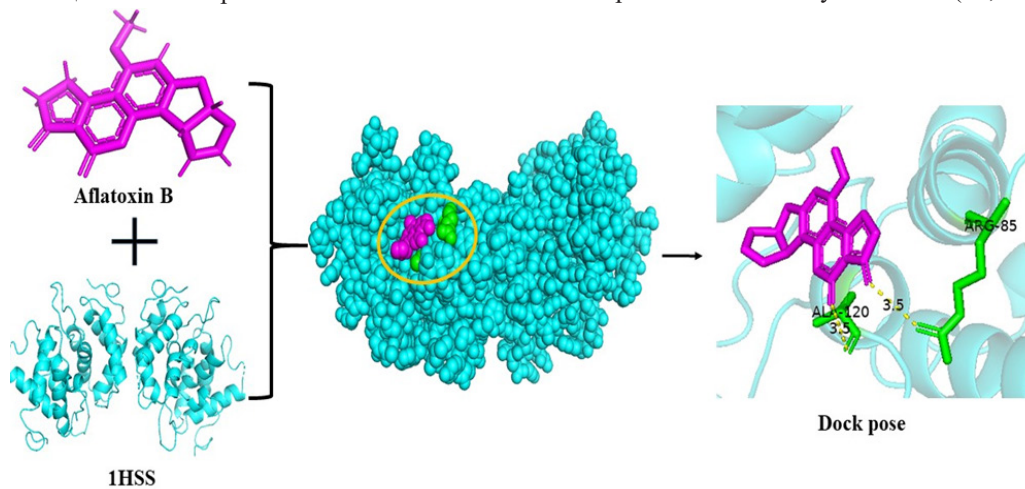


Рис. 3. Поза стыковки α -амилозы (1HSS) с афлатоксином В (AFLB)
Fig. 3. The docking position of α -amylase (1HSS) with Aflatoxin B (AFLB)

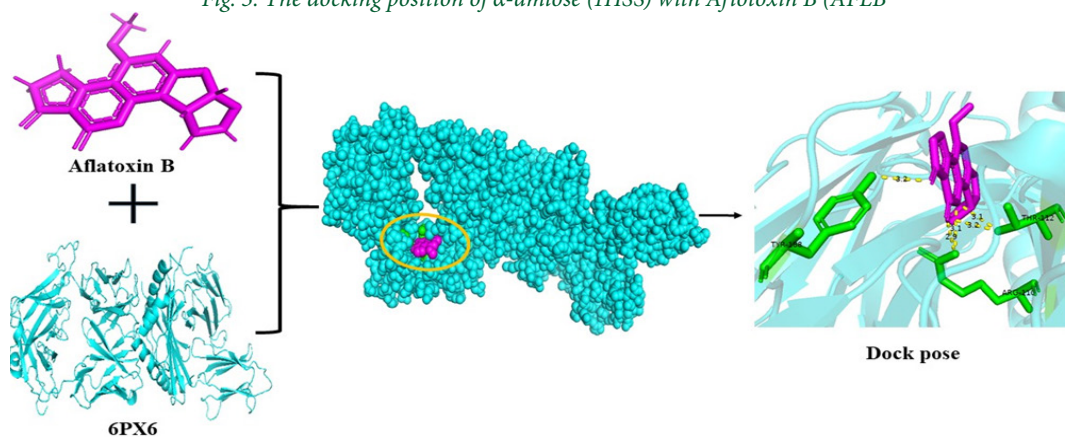


Рис. 4. Поза стыковки глютенина (6PX6) с афлатоксином В (AFLB)
Fig. 4. The docking position of Glutenin (6PX6) with Aflatoxin B (AFLB)

Следовательно, для осуществления процесса детоксикации для разрушения прочной связи Glutenin +AFLB необходимо использовать мягкие методы воздействия, чтобы избежать трансформации чувствительных к температурам белковых соединений и возможной потери важных свойств хлебопекарного качества мягких сортов пшеницы. Полученные результаты ИК-Фурье спектрального анализа токсигенных плесеней *Aspergillus flavus* (yellow) и *Aspergillus parasiticus*, а также образцов зерна пшеницы указывают на наблюдаемые в спектрах *Aspergillus ssp.* характерные функциональные груп-

пы смещения участков О-Н (полоса 3300 см⁻¹), что связано с образованием комплексов с компонентами зерна. Вместе с тем для подтверждения установленных корреляций для других видов регулярных МТ необходимо дополнительное исследование, направленное на раскрытие факторов, провоцирующих процессы создания комплексов, проявляющих негативное влияние на биобезопасность зернового сырья, что позволит обеспечить потенциальных потребителей нутритивно полезной и безопасной продукцией высокого качества.

Библиографический список

1. Власов В. А., Матвеева П. М., Зуева В. А. Отдельные системные проблемы развития сельского хозяйства в контексте обеспечения продовольственной безопасности России // Аграрное и земельное право. 2021. № 2. С. 38–42. DOI: 10.47643/1815-1329_2021_2_38.
2. Макаров И. А., Чернокульский А. В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации // Журнал Новой экономической ассоциации. 2023. № 4. С. 145–202. DOI: 10.31737/22212264_2023_4_145-202.
3. Кононенко Г. П., Зотова Е. В., Буркин А. А. Опыт микотоксикологического обследования зернофуражных культур // Сельскохозяйственная биология. 2021. Том 56, № 5. С. 958–967. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.958.
4. Седова И. Б., Захарова Л. П., Чалый З. А., Тутельян В. А. Анализ загрязнения продовольственного зерна урожая 2020 года различными микротоксинами в Российской Федерации // Иммунопатология, аллергология, инфектология. 2023. № 2. С. 77–85. DOI: 10.14427/jipai.2023.2.77.
5. Потороко И. Ю., Кади А. М. Я., Анейум В., Руськина А. А. Молекулярный докинг растительных стабилизующих частиц для функциональных эмульсионных пищевых систем // Индустрия питания. 2023. Т. 8, № 2. С. 84–92. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-9.
6. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The state of food security and nutrition in the world in 2024. Financing to eliminate hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome: FAO; 2024. DOI: 10.4060/cd1254en.
7. Ismaiel A. A., Papenbrock J. Mycotoxins: Producing Fungi and Mechanisms of Phytotoxicity // Agriculture. 2015. No. 5. Pp. 492–537. DOI: 10.3390/agriculture5030492.
8. Salman A., Tsrer L., Pomerantz A., Moreh R., Mordechai S., Huleihel M.. FTIR spectroscopy for detection and identification of fungal phytopathogenes // Spectroscopy. 2010. Vol. 24. Pp. 261–267. DOI: 10.3233/SPE-2010-0448.
9. Balla E., Petrovay F. (). Chlamydia trachomatis infections in neonates // In: M. Mares (Ed.) Chlamydia trachomatis infections. IntechOpen, 2012. Pp. 133–146. DOI: 10.5772/31007.
10. Saif F. A., Yaseen S. A., Alameen A. S., Mane S. B., Undre P. B. Identification and characterization of *Aspergillus* species of fruit rot fungi using microscopy, FT-IR, Raman, and UV-Vis spectroscopy // Spectrochimica Acta. Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2021. Vol. 246. Article number 119010. DOI: 10.1016/j.saa.2020.119010.
11. Fungi producing significant mycotoxins // IARC scientific publications. 2012. Vol. 158. Pp. 1–30.
12. Bennett J. W., Klich M. Mycotoxins // Clinical Microbiology Reviews. 2003. Vol. 16 (3). Pp. 497–516. DOI: 10.1128/CMR.16.3.497–516.2003.
13. Klich M. A. *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin // Molecular Plant Pathology. 2007. Vol. 8, No. 6. Pp. 713–722. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00436.x.
14. Nikonenko N. A., Buslov D. K., Sushko N. I., Zhibankov R. Investigation of stretching vibrations of glycosidic linkages in disaccharides and polysaccharides with use of IR spectra deconvolution // Peptide Science. 2000. Vol. 57, No. 4. Pp. 257–262. DOI: 10.1002/1097-0282(2000)57:4<257::AID-BIP7>3.0.CO;2-3.
15. Kolawole O., Siri-Anusornsak W., Petchkongkaew A., Elliott C. A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock // Emerging Contaminants. 2024. Vol. 10, No. 3. Article number 100305. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100305.
16. Ogórek R., Kurczaba K., Łobas Z., Zołubak E., Jakubska-Busse A. Species diversity of micromycetes associated with *Epipactis helleborine* and *Epipactis purpurata* (Orchidaceae, Neottieae) in Southwestern Poland // Diversity. 2020. Vol. 12, No. 5. Article number 182. DOI: 10.3390/d12050182.

17. Wozny M., Kasiński S., Obremski K., Dąbrowski M., Dębowski M. Risk of mycotoxin contamination in thermophilic composting of kitchen and garden waste at large scale // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Article number 5288. DOI: 10.3390/app14125288.

18. Yu J., Pedroso I. R. Mycotoxins in cereal-based products and their impacts on the health of humans, live-stock animals and pets // *Toxins*. 2023. Vol. 15, No. 8. Article number 480. DOI: 10.3390/toxins15080480.

Об авторах:

Ирина Юрьевна Потороко, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-3059-8061, AuthorID 646677. *E-mail: irina_potoroko@mail.ru*

Артем Владимирович Малинин, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ORCID 0000-0001-9270-5945, AuthorID 1031401. *E-mail: malininav@susu.ru*

Аммар Мохаммад Яхья Кад, ассистент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ORCID 0000-0003-2755-1497, AuthorID 1130169. *E-mail: kadia@susu.ru*

Вариша Аниум, доктор философии (PhD) фармакогнозии и фитохимии, старший научный сотрудник кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, ORCID 0000-0001-6916-5653, AuthorID 1257193. *E-mail: aniumv@susu.ru*

Ольга Петровна Неверова, кандидат биологических наук, доцент, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; *E-mail: opneverova@mail.ru*

References

1. Vlasov V. A., Matveeva P. M., Zueva V. A. Some systemic problems of agricultural development in the context of ensuring food security in Russia. *Agrarian and Land Law*. 2021; 2: 38–42. DOI: 10.47643/1815-1329_2021_2_38. (In Russ.)

2. Makarov I. A., Chernokulskiy A. V. The impact of climate change on the Russian economy: a rating of regions on the need for adaptation. *Journal of the New Economic Association*. 2023; 4 (61): 145–202. DOI: 10.31737/22212264_2023_4_145-202. (In Russ.)

3. Kononenko G. P., Zotova E. V., Burykin A. A. The experience of mycotoxicological study of grain crops. *Agricultural Biology*. 2021; 56 (5): 958–967. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.958. (In Russ.)

4. Sedova I. B., Zakharova L. P., Chaly Z. A., Tutelyan V. A. Analysis of contamination of food grain of the 2020 harvest with various microtoxins in the Russian Federation. *Immunopathology, Allergology, Infectology*. 2023; 2: 77–85. DOI: 10.14427/jipai.2023.2.77. (In Russ.)

5. Potoroko I. Yu., Kadi A. M. Y., Anjum V., Ruskina A. A. Molecular docking of plant stabilizing particles for functional emulsion food systems. *Food Industry*. 2023; 8 (2): 84–92. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-9.

6. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The state of food security and nutrition in the world in 2024. Financing to eliminate hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome: FAO; 2024. DOI: 10.4060/cd1254en.

7. Ismaiel A. A., Papenbrock J. Mycotoxins: Producing fungi and mechanisms of phytotoxicity. *Agriculture*. 2015; 5: 492–537. DOI: 10.3390/agriculture5030492.

8. Salman A., Tsror L., Pomerantz A., Moreh R., Mordechai S., Huleihel M. FTIR spectroscopy for detection and identification of fungal phytopathogens. *Spectroscopy*. 2010; 24: 261–267. DOI: 10.3233/SPE-2010-0448.

9. Balla E., Petrovay F. (2012). Chlamydia trachomatis infections in neonates. In: M. Mares (Ed.) *Chlamydia trachomatis infections*. IntechOpen, 2012: 133–146. DOI: 10.5772/31007.

10. Saif F. A., Yaseen S. A., Alameen A. S., Mane S. B., Undre P. B. Identification and characterization of *Aspergillus* species of fruit rot fungi using microscopy, FT-IR, Raman, and UV-Vis spectroscopy. *Spectrochimica Acta. Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2021; 246: 119010. DOI: 10.1016/j.saa.2020.119010.

11. Fungi producing significant mycotoxins. *IARC scientific publications*. 2012; 158: 1–30.

12. Bennett J. W., Klich M. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*. 2003; 16 (3): 497–516. DOI: 10.1128/CMR.16.3.497-516.2003.

13. Klich M. A. *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. *Molecular Plant Pathology*. 2007; 8 (6): 713–722. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00436.x.

14. Nikonenko N. A., Buslov D. K., Sushko N. I., Zhbankov R. Investigation of stretching vibrations of glycosidic linkages in disaccharides and polysaccharides with use of IR spectra deconvolution. *Peptide Science*. 2000; 57 (4): 257–262. DOI: 10.1002/1097-0282(2000)57:4<257::AID-BIP7>3.0.CO;2-3.

15. Kolawole O., Siri-Anusornsak W., Petchkongkaew A., Elliott C. A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. *Emerging Contaminants*. 2024; 10 (3): 100305. DOI: 10.1016/j.emcon.2024.100305.

16. Ogórek R., Kurczaba K., Łobas Z., Zołubak E., Jakubska-Busse A. Species diversity of micromycetes associated with *Epipactis helleborine* and *Epipactis purpurata* (Orchidaceae, Neottieae) in Southwestern Poland. *Diversity*. 2020; 12 (5): 182. DOI: 10.3390/d12050182.

17. Wozny M., Kasiński S., Obremski K., Dąbrowski M., Dębowski M. Risk of mycotoxin contamination in thermophilic composting of kitchen and garden waste at large scale. *Applied Sciences*. 2024; 14: 5288. DOI: 10.3390/app14125288.

18. Yu J., Pedroso I. R. Mycotoxins in cereal-based products and their impacts on the health of humans, livestock animals and pets. *Toxins*. 2023; 15 (8): 480. DOI: 10.3390/toxins15080480.

Authors' information:

Irina Yu. Potoroko, doctor of technical sciences, professor of the department of food and biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, ORCID 0000-0002-3059-8061, AuthorID 646677.

E-mail: irina_potoroko@mail.ru

Artem V. Malinin, assistant at the department of food and biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, ORCID 0000-0001-9270-5945, AuthorID 1031401. *E-mail: malininv@susu.ru*

Ammar M. Y. Kadi, assistant at the department of food and biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ORCID 0000-0003-2755-1497, AuthorID 1130169, *E-mail: kadia@susu.ru*

Varisha Anjum, doctor of philosophy (PhD) pharmacognosy and phytochemistry, senior researcher of the department of food technology and biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, ORCID 0000-0001-6916-5653, AuthorID 1257193, *E-mail: aniumv@susu.ru*

Olga P. Neverova, candidate of biological sciences, associate professor, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; *E-mail: opneverova@mail.ru*

Регенерационная способность генотипов подрода *Ribesia* Berl. в культуре in vitro

Н. В. Ряго[✉], О. В. Панфилова

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

[✉]E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Аннотация. Цель. Работа направлена на усовершенствование элементов технологии микроклонального размножения смородины красной с учетом генетических особенностей, регенерационной системы для индукции морфогенеза эксплантов. **Методы.** Исследования проведены в 2022/2023 гг. в условиях центрального региона России на базе ВНИИСПК. В качестве объектов исследования выбраны трудно размножающиеся сорта смородины красной 'Валентиновка', 'Мармеладница' и 'Подарок лета', полученные с участием родительской формы 'Rote Spatlese'. Отбор меристематических тканей побегов и стерилизаторов проводился в соответствии с современными отечественными и зарубежными протоколами и методиками. Введение в культуру – в конце зимнего периода, поздневесеннего и осеннего периодов в соответствии со стадиями онтогенетического развития смородины красной. Для математического анализа экспериментальных данных использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Достоверность результатов опыта оценивали с помощью множественного рангового теста Тьюки при уровне значимости $P < 0,05$. **Результаты.** Экспериментально доказана целесообразность введения в культуру in vitro генотипов смородины красной на этапе вынужденного покоя. В период поздневесеннего введения значительные сортовые различия и снижение жизнеспособности микрорастений связаны с поражением бактериальной микрофлорой и некрозом. Оптимизированы режимы стерилизации апикальных меристем смородины при введении в культуру. Показана целесообразность использования стерилизаторов в зависимости от сорта и этапа введения в культуру. Высокая эффективность вне зависимости от срока введения и сорта получена в эксперименте со стерилизующим агентом $AgNO_3$. **Научная новизна.** Оработаны и научно обоснованы некоторые элементы технологии микроклонального размножения ягодных культур на примере подрода *Ribesia* Berl. Доказана эффективность регенерационной способности эксплантов смородины красной в зависимости от периода введения апикальных меристем in vitro, периода онтогенеза смородины и физиологического состояния растений.

Ключевые слова: элементы технологии, сроки введения, онтогенез растений, жизнеспособность эксплантов, регенерационная способность, меристема, стерилизующий агент, ступенчатая стерилизация, оздоровление растений

Для цитирования: Ряго Н. В., Панфилова О. В. Регенерационная способность генотипов подрода *Ribesia* Berl. в культуре in vitro // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1345–1358. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1345-1358>.

Дата поступления статьи: 05.08.2024, **дата рецензирования:** 28.08.2024, **дата принятия:** 02.09.2024.

Regenerative ability of genotypes of the *Ribesia* Berl. in vitro

N. V. Ryago[✉], O. V. Panfilova

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

[✉]E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Abstract. The work was aimed at improving the elements of the technology of microclonal propagation of red currants, taking into account the genetic characteristics and the regeneration system for inducing the morphogenesis of explants. **Methods.** The work was completed in 2022/2023 under the conditions of the central region of Russia on the basis of the Russian Research institute of Fruit Crop Breeding. Difficult to propagate red currant varieties 'Valentinovka', 'Marmeladnitsa' and 'Podarok Leta', which were obtained with the participation of the parent

form 'Rote Spatlese', were selected as the objects of the study. The selection of meristematic tissues of shoots and sterilizers was carried out in accordance with modern domestic and foreign protocols and methods. The introduction to culture was performed at the end of the winter, late spring and autumn periods in accordance with the stages of ontogenetic development of red currant. Statistical processing of the data was carried out using one-way analysis of variance (ANOVA). To analyze the significance of the results, Tukey's multiple rank tests was used at a significance level of $P < 0.05$. **Results.** The feasibility of introducing red currant genotypes into *in vitro* culture at the stage of forced dormancy was experimentally proven. During the period of late spring introduction, significant varietal differences and a decrease in the viability of microplants were associated with damage by bacterial microflora and necrosis. Sterilization regimes for currant apical meristems when introduced into culture were optimized. The feasibility of using sterilizers is shown depending on the genotype and the period of introduction into the culture. High efficiency, regardless of the period of introduction and variety, was obtained in the experiment with the sterilizing agent AgNO_3 . **Scientific novelty.** Some elements of the technology of microclonal propagation of berry crops were developed and scientifically substantiated using the example of the subgenus *Ribes* Berl. The effectiveness of the survival rate of red currant microplants was shown depending on the period of introduction of apical meristems into the culture and the physiological state of the plants.

Keywords: elements of technology, timing of introduction, plant ontogenesis, viability of explants, regenerative ability, meristem, sterilizing agent, stepwise sterilization, plant health improvement

For citation: Ryago N. V., Panfilova O. V. Regenerative ability of genotypes of the *Ribes* Berl. *in vitro*. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1345–1358. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1345-1358>. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.08.2024, **date of review:** 28.08.2024, **date of acceptance:** 02.09.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Разработка эффективных технологий получения чистосортного, оздоровленного растительного материала ягодных культур является важной задачей интенсификации садоводческой отрасли [1]. Вирусные болезни – одна из главных проблем современного ягодоводства, они приводят к снижению реализационного генетического потенциала существующих сортов [2]. Длительное положительное использование вегетативного размножения ягодных культур, в том числе смородины красной, привело к высокому накоплению инфекционного фона как в частных питомниках, так и в биоресурсных коллекциях НИИ [3]. Использование культуры апикальных меристем обеспечивает получение оздоровленного генетического материала, сохранение коллекции ценных генотипов и улучшение качества посадочного материала ягодных культур [4]. Подбор оптимальных сроков введения в культуру, совершенствование обработок изолированных меристем и выбор питательных сред, максимально эффективных для культивирования растений *in vitro*, позволят сократить сроки получения чистосортного, безвирусного селекционного материала, а также получить высокотехнологичные адаптированные сорта.

Положительный эффект регенерации апикальных меристем зависит от срока их извлечения из исходного растения, генотипа, происхождения экспланта и стерилизующего агента [5–7]. Успех введения в культуру связан с изменением биохимических реакций в метаболизме растения, включая содержание того или иного фитогормона [8]. Во многих исследовательских работах нет единого мнения по вопросу лучшего срока для максимальной эф-

фективности введения *in vitro*. Для многих ягодных культур эффективным периодом изоляции эксплантов считается период активного роста [9; 10]. На данной стадии развития вероятность заражения (инфицирования) минимальна, повышенный гормональный фон способствует эффективному введению в культуру. Некоторые отмечают лучший результат при изоляции искусственно пробужденных зимующих почек или из почек в период окончания активного роста [9; 11; 12], другие используют спящие почки в конце осеннего периода [13].

Для введения смородины красной некоторые исследователи используют как спящие почки, взятые в конце зимы или ранней весной, так и молодые верхушки побегов в фазе активного роста (май – июнь) [2; 14–16]. Однако процент жизнеспособных эксплантов в указанные сроки сильно варьирует. Важным промежуточным этапом перед введением в культуру является обеззараживание исходного материала с использованием стерилизаторов. Подбор соединения, способствующего освобождению почек от инфекции и получению большего числа жизнеспособных эксплантов, является важным промежуточным этапом. Для каждого вида растений оптимальный режим стерилизации (тип стерилизатора, концентрация, время экспозиции) выбирается экспериментальным путем [17–19]. В качестве стерилизатора для смородины и других ягодных культур применяют различные соединения, которые отличаются степенью дезинфицирующего и антисептического действия: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, NaOCl , HgCl_2 , $\text{C}_9\text{H}_9\text{S}_2\text{HgNa}$, $\text{C}_{47}\text{H}_{53}\text{BrN}_2\text{O}_4$, H_2O_2 , AgNO_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, белизна, Domestos и т. д. [2; 15; 17; 20–26]. Важно подобрать стерилизующий агент с уче-

том генотипа, вида растений, который обеспечивал стерильность без повреждений культуры [27].

В связи с указанными пробелами в области микрклонального размножения разных представителей ягодных культур целью исследований было определить некоторые элементы технологии *in vitro* (сроки введения и подбор стерилизующего агента), обеспечивающие высокую эффективность микрклонального размножения генотипов подрода *Ribesia* на этапе введения в культуру.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проведено в лаборатории биотехнологии ВНИИСПК в 2022/2023 гг. Отбор образцов проводился из биоресурсной коллекции красной смородины института. Объектами исследования служили сорта смородины красной 'Валентиновка', 'Мармеладница' и 'Подарок лета', полученные на основе сорта 'Rote Spatlese' во ВНИИСПК (таблица 1). Сорт 'Rote Spatlese' характеризуется высокой урожайностью, поздним сроком созревания, засухоустойчивостью. Генотипы, полученные на основе этого сорта, наследуют высокую урожайность, засухоустойчивость и поздний срок созревания, что пролонгирует период потребления свежей продукции. Однако сорта, полученные с участием 'Rote Spatlese', трудно размножаются вегетативным способом, их сложно привлечь в селекционную практику в связи с продолжительным периодом получения таких растений.

Отбор меристематических тканей побега проведен в соответствии с протоколом *Micropropagation of Rubus and Ribes spp.* [22]. В качестве исходного материала использовали почки без кроющих чешуй однолетних побегов сортов смородины красной. Введение в культуру проводили в позднелетний (конец февраля – начало марта), поздневесенний (май) и осенний (октябрь) периоды (опыт I). Для введения в культуру в течение указанных сроков использовали 90 однолетних побегов каждого сорта смородины красной из биоресурсной коллекции института. Длина побегов 20–25 см с 5–6 почками. Побеги переносили в теплое помещение (+20 °C) и помещали в воду на отрастание. Обработка побегов ауксином не проводилась. Через 10–12 дней проводили отбор эксплантов, их размер составлял 1–2 мм.

Стерилизацию почек проводили согласно методическим рекомендациям, разработанным Е. Н. Джигадло в соавторах [28], по многоступенчатой схеме (опыт II):

1. Проточная вода – 40 мин.
 2. Этиловый спирт 70 % – 10 с.
 3. Дистиллированная вода – 10 мин.
 4. Используемый стерилизатор – 5–10 мин.
 5. Стерильная дистиллированная вода – 3 × 10 мин.
- Используемые стерилизаторы (с разной длительностью экспозиции):
- 0,01-процентный раствор мертиолята (C₉H₉HgNaO₂S) (10 мин.);
 - 0,1-процентный раствор сулемы (HgCl₂) (10 мин.);
 - 12-процентный раствор перекиси водорода (H₂O₂) (5 мин.);
 - 0,2-процентный раствор нитрата серебра (AgNO₃) (5 мин.).

Использование комплексной многоступенчатой стерилизации растительного материала снижает инфицированность эксплантов на этапе введения *in vitro* [29].

После последней промывки водой почки помещали в раствор аскорбиновой кислоты в концентрации 3 г/л для предотвращения фенольного окисления. Экспланты высаживали на питательную среду по прописи Murashige – Skoog (таблица 2).

Для стимулирования ростовых процессов использовали регулятор роста 6-БАП (6-бензиламинопуридин) [2; 22]. Для предотвращения развития бактериального заражения среду дополняли антибиотиком гентамицином в концентрации 0,02 г/л. Плановые пересадки растительного материала проводили в ламинар-боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1.2 (Россия) через каждые 30–35 дней с обновлением питательной среды согласно рекомендациям [15]. Культивирование эксплантов проводили в климатической комнате при температуре +23 ± 2 °C, влажностью воздуха 50–60 %, освещенностью 2500 Лк и фотопериодом 16/8 согласно рекомендациям [22].

Количество учетных растений по каждому опыту – 30 шт. Биологических повторностей – 3. Всего 90 шт. учетных растений.

Таблица 1

Происхождение сортов смородины красной

Сорт	Генетическое происхождение	Видовое происхождение
'Валентиновка'	'Rote Spatlese' × 'Jonkheer Van Tets'	<i>R. rubrum</i> L. <i>R. multiflorum</i> Kit.
'Мармеладница'	'Rote Spatlese' × 'Maarses Prominent'	
'Подарок лета'	'Rote Spatlese' × 'Jonkheer Van Tets'	

Table 1
The origin of red currant varieties

Variety	Genetic origin of plants	Origin of species of plants
'Valentinovka'	'Rote Spatlese' × 'Jonkheer Van Tets'	<i>R. rubrum</i> L. <i>R. multiflorum</i> Kit.
'Marmeladnitsa'	'Rote Spatlese' × 'Maarses Prominent'	
'Podarok leta'	'Rote Spatlese' × 'Jonkheer Van Tets'	

Таблица 2
Состав питательной среды Murashige – Skoog (мг/л)

Компоненты среды			
Макроэлементы		Микроэлементы	
NH_4NO_3	1650	Na_2EDTA	37,3
KNO_3	1900	$FeSO_4 \times 7H_2O$	27,8
KH_2PO_4	170	H_3BO_3	6,2
$CaCl_2 \times 2H_2O$	440	$MnSO_4 \times 4H_2O$	22,3
$MgSO_4 \times 7H_2O$	370	$ZnSO_4 \times 4H_2O$	8,6
		$ZnSO_4 \times 7H_2O$	–
		KJ	0,83
		$Na_2MoO_4 \times 2H_2O$	0,25
		$CuSO_4 \times 5H_2O$	0,025
		$CoCl_2 \times 5H_2O$	0,025
Витамины		Другие компоненты	
Тиамин HCl	0,5	Глицин	2,0
Пиридоксин HCl	0,5	Сахароза	$30 \cdot 10^3$
Никотиновая кислота	0,5	Агар-агар	$4,2 \cdot 10^3$
Аскорбиновая кислота	1,0		
pH			5,8–6,0

Table 2
Composition of the nutrient medium Murashige – Skoog (mg/l)

Components of the nutrient medium			
Macroelements		Microelements	
NH_4NO_3	1650	Na_2EDTA	37.3
KNO_3	1900	$FeSO_4 \times 7H_2O$	27.8
KH_2PO_4	170	H_3BO_3	6.2
$CaCl_2 \times 2H_2O$	440	$MnSO_4 \times 4H_2O$	22.3
$MgSO_4 \times 7H_2O$	370	$ZnSO_4 \times 4H_2O$	8.6
		$ZnSO_4 \times 7H_2O$	–
		KJ	0.83
		$Na_2MoO_4 \times 2H_2O$	0.25
		$CuSO_4 \times 5H_2O$	0.025
		$CoCl_2 \times 5H_2O$	0.025
Vitamins		Other components	
Thiamine HCl	0.5	Glycine	2.0
Pyridoxine HCl	0.5	Sucrose	$30 \cdot 10^3$
Nicotinic acid	0.5	Agar-agar	$4.2 \cdot 10^3$
Ascorbic acid	1.0		
pH			5.8–6.0

Экспериментальные данные были представлены как среднее \pm SE (стандартная ошибка). Средние значения были статистически проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), средние значения обработки считались значительно отличающимися от контрольных значений после анализа с помощью множественного рангового теста Тьюки (Tukey's test) при $P < 0,05$ уровня значимости.

Результаты (Results)

Опыт I. Сроки введения эксплантов в культуру *in vitro*

Прохождение основных вегетационных фаз развития *Ribesia* Berl. (начало вегетации, цветение, со-

зревание ягод, конец роста побегов, листопад) соответствует умеренно-континентальному климату Центрального региона России [30]. Согласно исследованиям О. V. Panfilova с соавторами [31], в феврале – начале марта смородина красная находится в состоянии вынужденного покоя. Среднеголетние значения температурного фактора зимне-весеннего периода Центрального региона (февраль $-7,5$ °C, март $-2,5$ °C) позволяют проводить «извлечение» почек уже в конце зимы. Результаты исследования регенерационной способности эксплантов генотипов смородины красной в периоды вынужденного зимне-весеннего покоя, активного периода вегетации и окончания вегетации показаны на рис. 1.

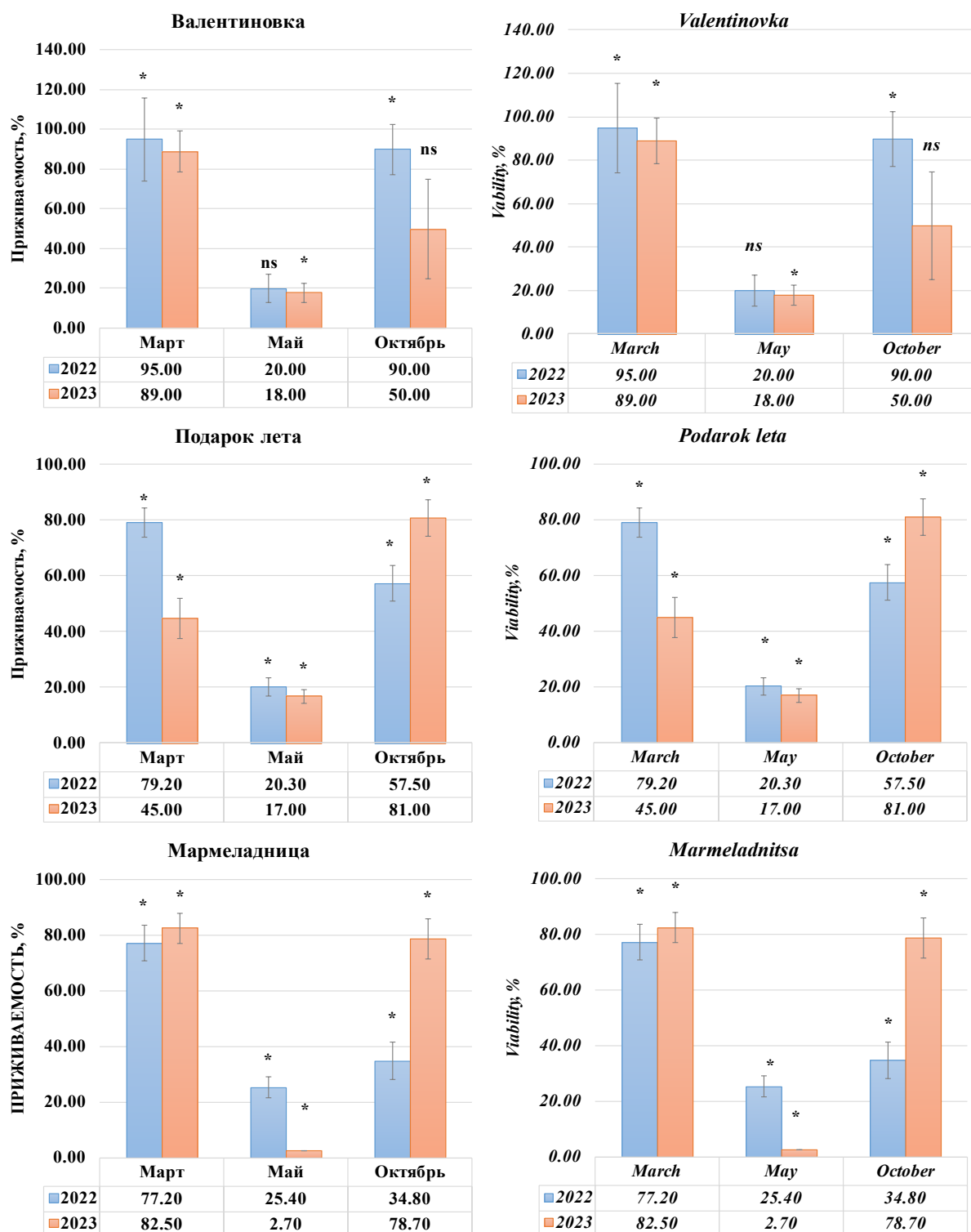


Рис. 1. Приживаемость генотипов *Ribesia Berl.* в зависимости от сроков введения в культуру *in vitro*. По критерию Tukey's (HSD) столбцы с обозначением *ns* не имеют значительных отличий

Fig.1. The viability of *Ribesia Berl.* of genotypes according to the dates of their *in vitro*. By Tukey's test (HSD), columns with «*ns*» indicated are not significantly different

В среднем по сортам эффективность введения в культуру *in vitro* значительно варьировала в зависимости от срока введения. Приживаемость эксплантов смородины в конце зимы составляла 77,9 %, в начале лета – 17,2 %, в осенний период – 65,3 %. Высокие значения жизнеспособности эксплантов

в зимне-весенний и осенний периоды связаны с физиологическим состоянием почек смородины, а именно с замедлением процесса обмена веществ, а также механическими барьерами для продвижения вирусной инфекции в меристематическую зону в связи с небольшим размером плазмодесм [32].

Перемещение растений в теплое помещение (весеннее и зимнее введение) ускоряет обмен веществ и в дальнейшем положительно сказывается на результатах приживаемости [33].

Низкие показатели приживаемости меристем зафиксированы в поздневесенний период для всех изученных сортов, что связано с высоким процентом некроза и количеством зараженных эксплантов. Полученные результаты объясняются интенсивным развитием сапрофитной микрофлоры на поверхности растений, которые приводят к заражению среды и гибели эксплантов некоторых сортов (таблица 3).

На примере сорта ‘Подарок лета’ (рис. 2) показаны развитие и приживаемость эксплантов в зависимости от срока введения в культуру.

Для представителей ягодных культур, в частности семян смородины черной, значительных отличий по инфицированности и приживаемости, регенерационной способности апикальных меристем почек, находившихся в состоянии покоя, и развивающихся однолетних побегов не выявлено [34]; для определенных сортов винограда высокая эффективность введения в культуру получена в начале вегетации и в фазу активного роста побегов [11]. Полученные нами результаты не подтвердили эти данные, что, вероятно, объясняется генотипическими особенностями растений подрода *Ribesia*.

Опыт II. Эффективность стерилизующих агентов на этапе введения меристем в стерильную культуру

Результат испытания разных стерилизаторов в зависимости от срока введения проверяли спустя 14 дней после культивирования. Учет погибших, инфицированных и жизнеспособных микрорастений позднезимнего введения представлен на рис. 3.

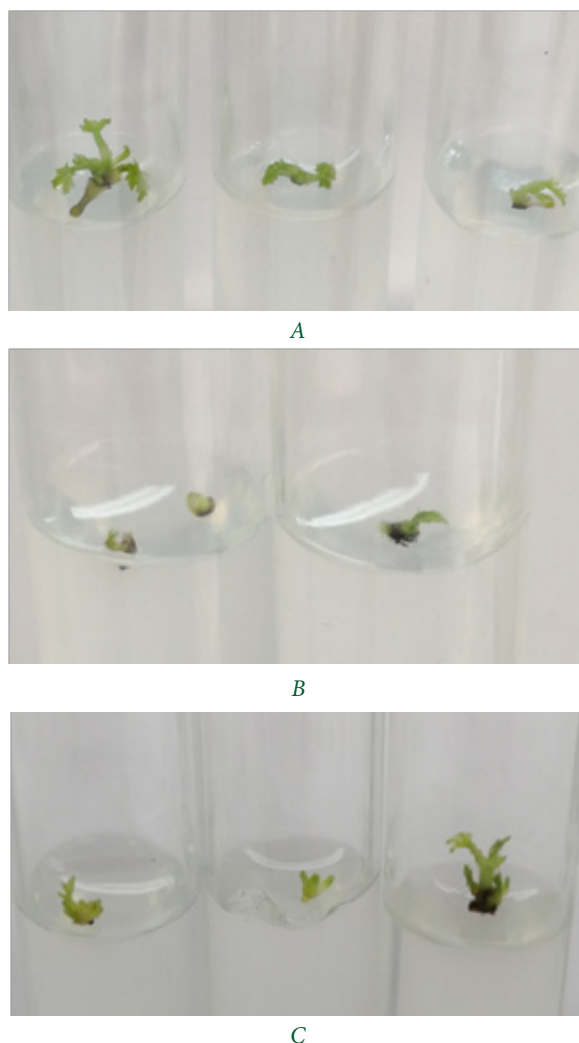


Рис. 2. Экспланты сорта ‘Подарок лета’ в конце 0-го пассажа (2023 г.) при введении: А – март; В – май; С – октябрь
 Fig. 2. Explants of the variety ‘Podarok leta’ at the end of the 0th passage (2023) at the introduction of: А – March; В – May; С – October

Таблица 3
Показатели жизнеспособности эксплантов сортов смородины красной в культуре in vitro в разные онтогенетические периоды, %

Сорт	Март		Май		Октябрь	
	Некроз	Заражение	Некроз	Заражение	Некроз	Заражение
Валентиновка	0	5,00	29,00	59,00	40,60	15,80
Мармеладница	17,50	3,10	71,10	12,40	32,70	7,50
Подарок лета	23,60	13,60	67,70	13,10	12,60	15,50
Среднее значение	13,70	7,23	55,93	28,17	28,63	12,93

Table 3
The viability indicators of explants of red currant varieties in vitro at the different ontogenetic periods, %

Variety	March		May		October	
	Necrosis	Contamination	Necrosis	Contamination	Necrosis	Contamination
Valentinovka	0	5.00	29.00	59.00	40.60	15.80
Marmeladnitsa	17.50	3.10	71.10	12.40	32.70	7.50
Podarok leta	23.60	13.60	67.70	13.10	12.60	15.50
Average	13.70	7.23	55.93	28.17	28.63	12.93

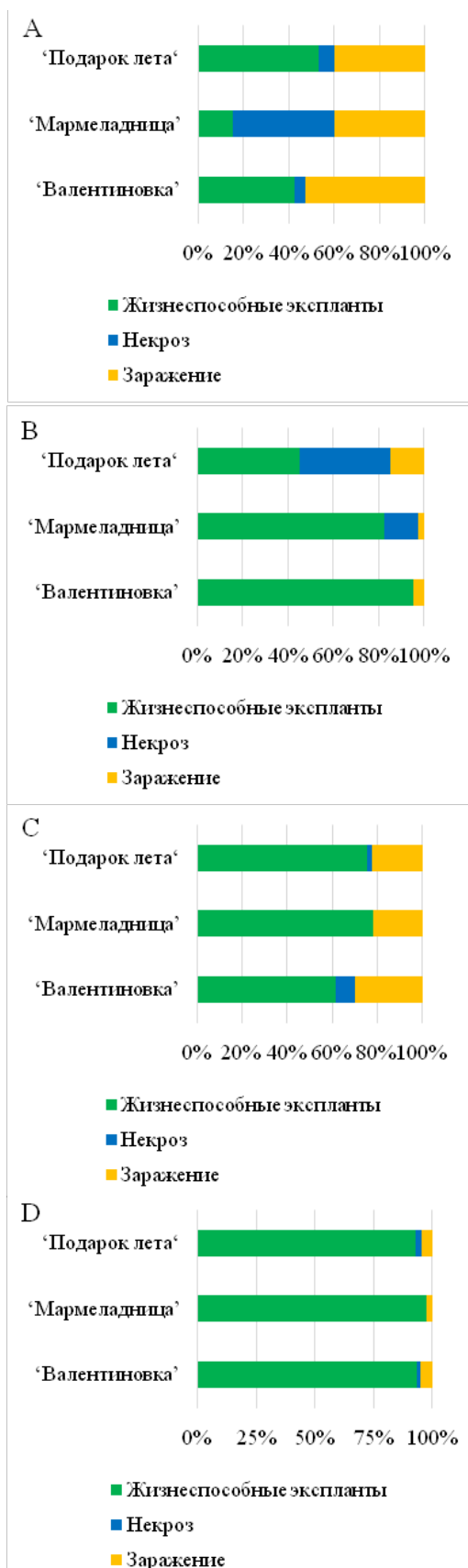


Рис. 3. Стерилизация эксплантов сортов смородины красной при введении в культуру *in vitro* (март, 2023):
 А) мертиолят; В) сулема; С) перекись водорода;
 Д) нитрат серебра

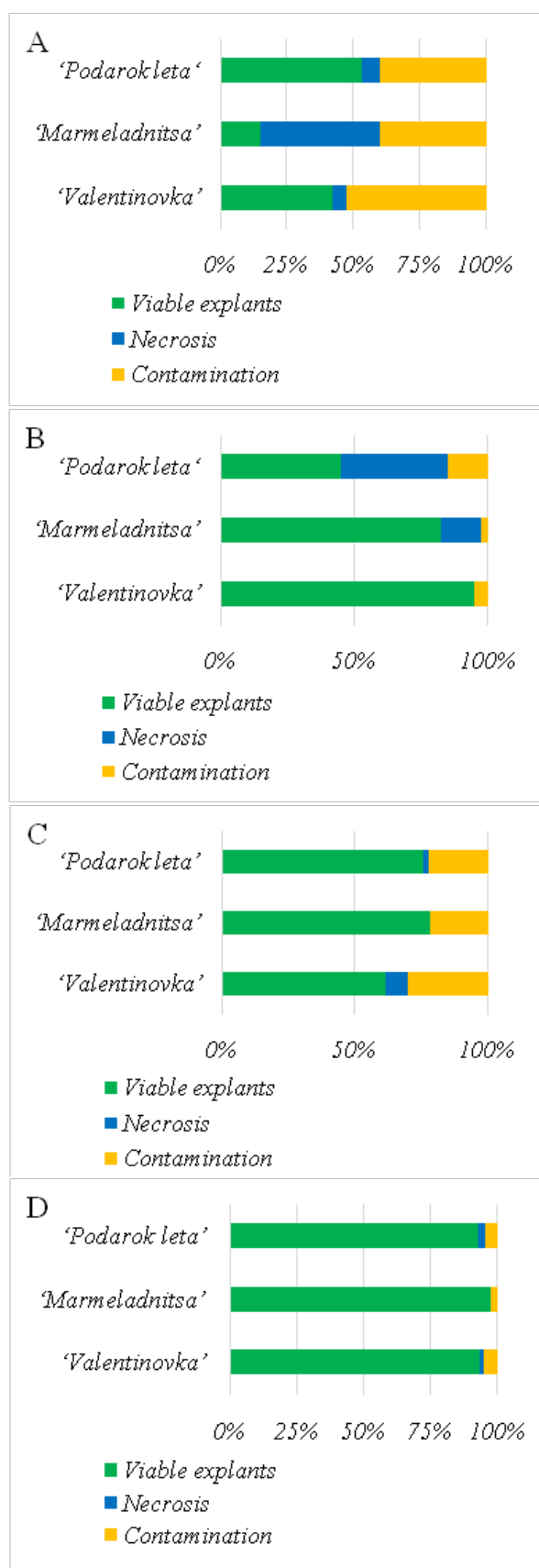


Fig.3. Sterilisation of red currant explants according to the dates of their *in vitro* (March, 2023):
 A) mertiolate; B) sulema; C) hydrogen peroxide;
 D) silver nitrate

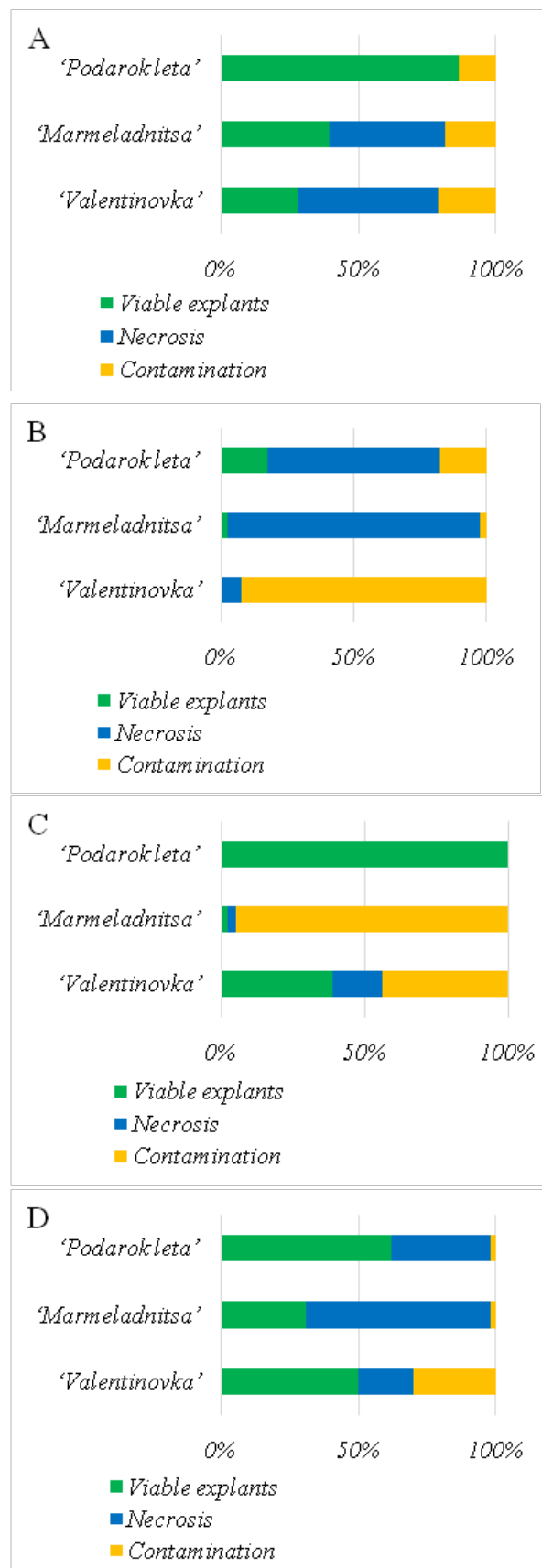
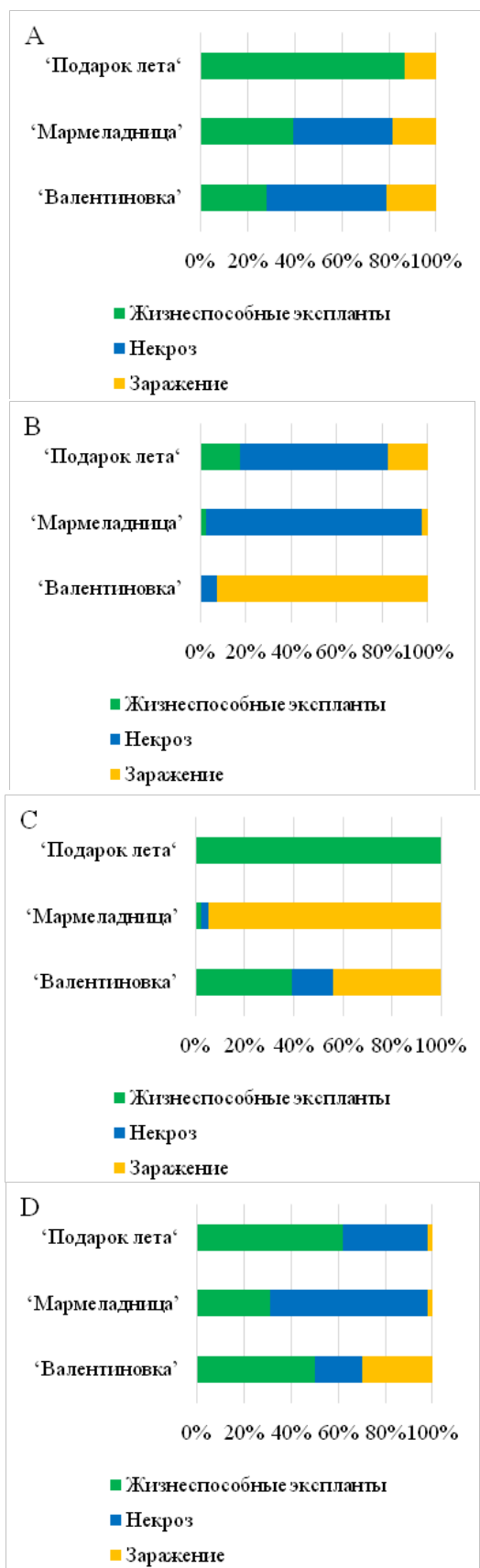


Рис. 4. Стерилизация эксплантов сортов смородины красной при введении в культуру *in vitro* (май, 2023):
 А) мертиолят; В) сулема; С) перекись водорода;
 D) нитрат серебра

Fig.4. Sterilisation of red currant explants according to the dates of their *in vitro* (May, 2023):
 A) mercuric iodine; B) sulfolane;
 C) hydrogen peroxide; D) silver nitrate

Высокий процент обеззараживания и приживаемость меристем получены при обработке 0,2-процентным раствором нитрата серебра (AgNO_3). Доля жизнеспособных эксплантов по изученным сортам составляла в среднем 94,4 %. При испытании растворов сулемы HgCl_2 (0,1 %) и перекиси водорода H_2O_2 (12 %) жизнеспособность микрорастений немного снизилась до 70 %. При этом в опыте с HgCl_2 показана сортоспецифичность в отношении проявления некроза и заражения. Стерилизующие агенты AgNO_3 и H_2O_2 минимизировали образование некроза тканей до 8,3 %, что объясняется низкой токсичностью H_2O_2 и снижением времени обработки AgNO_3 . Полученные данные по испытанию AgNO_3 на эксплантах подрода *Ribesia* частично согласуются с результатами стерилизации почек при введении в культуру представителей родов *Vaccinium* [35] и *Lonicera* [36]. Раствор AgNO_3 в концентрации 0,2 % оказался достаточно эффективным по сравнению с другими соединениями. В то же время высокая эффективность при стерилизации эксплантов персика и земляники получены при использовании H_2O_2 в концентрации 10 % и 12 % [29; 37]. В данном эксперименте стерилизация почек раствором мертиолята (0,01 %) показала худший результат.

Противоречивые результаты получены при использовании испытываемых стерилизующих агентов

в позднеосенний период. Вариация по изучаемым признакам отмечалась не только по стерилизаторам, но и по генотипам. Для всех изученных сортов низкие значения получены при испытании раствора сулемы. Использование H_2O_2 не обеспечило подавление бактериальной микрофлоры у сортов 'Мармеладница' и 'Валентиновка', высокая контаминация микрообегов снизила сохранность апикальных меристем в культуре (рис. 4). Схожие результаты, демонстрирующие низкий эффект H_2O_2 в позднеосенний период, получены в опытах с эксплантами представителей подрода *Prunus* [24].

Лучшие показатели вне зависимости от испытания стерилизующих агентов показаны на данном этапе у сорта 'Подарок лета'.

На этапе осеннего введения высокая эффективность получена у сортов со стерилизатором AgNO_3 (рис. 5). В среднем по сортам жизнеспособность превышала 80 %. Испытание других стерилизаторов определялось генотипом. Для сорта 'Валентиновка' более 50 % жизнеспособных микрорастений получено в опытах с мертиолятом; более 70 % жизнеспособных эксплантов генотипов 'Подарок лета' и 'Мармеладница' получено при испытании раствора сулемы. Сортоспецифичность при испытании разных стерилизаторов на данном этапе введения получена в экспериментах со сливой, алычой, малиной [38; 39].

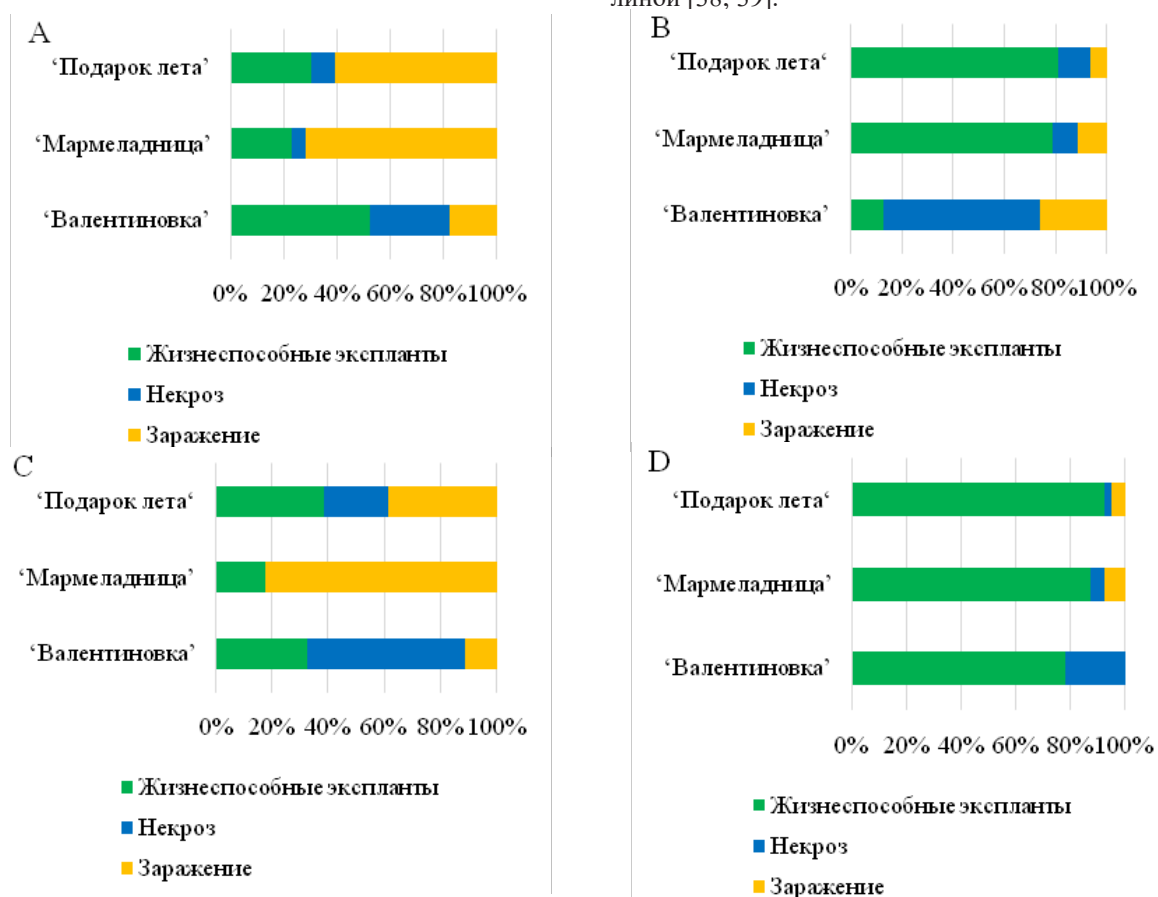


Рис. 5. Стерилизация эксплантов сортов смородины красной при введении в культуру *in vitro* (октябрь, 2023): А) мертиолят; В) сулема; С) перекись водорода; Д) нитрат серебра

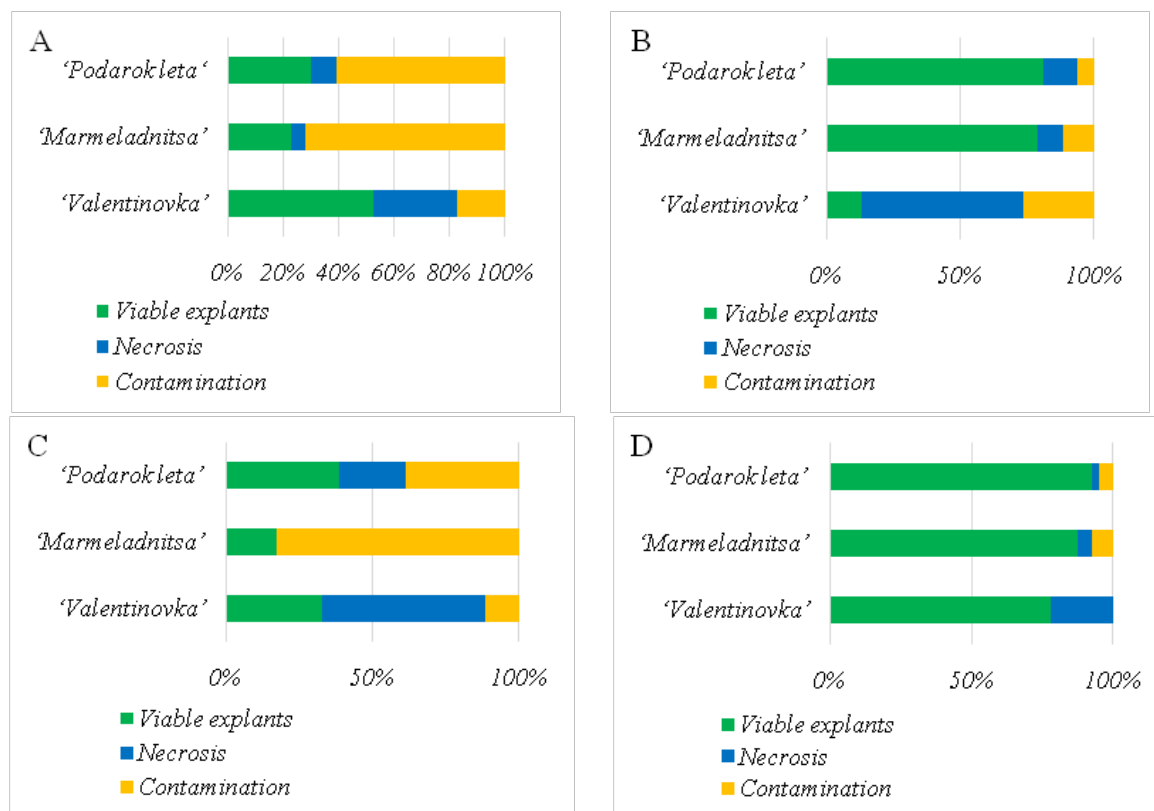


Fig. 5. Sterilisation of red currant explants according to the dates of their *in vitro* (October, 2023): A) mertiolate; B) sulema; C) hydrogen peroxide; D) silver nitrate

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Усовершенствованы некоторые элементы технологии микроклонального размножения представителей подрода *Ribesia* Berl. с учетом генетических особенностей, регенерационной системы для индукции морфогенеза эксплантов и совершенствованных обработок изолированных меристем.

Определена эффективность приживаемости эксплантов представителей смородины красной в зависимости от срока введения апикальных меристем в культуру и физиологического состояния растений. Высокие показатели приживаемости и жизнеспособности микрорастений были на этапе вынужденного покоя исходных форм. Регенерационная способность эксплантов растений не сильно варьирует по изучаемым сортам. Значительные сортовые различия связаны с жизнеспособностью

эксплантов: поражение некрозом, заражение бактериальной и микотической инфекциями.

Тип выбранного стерилизатора определяется генотипом и периодом введения *in vitro*. Стерилизующий агент $AgNO_3$ показал высокую эффективность вне зависимости от срока введения в культуру и сорта. Способность $AgNO_3$ нарушать жизнедеятельность сапрофитной микрофлоры за счет быстрого проникновения в клетку, оказания бактериостатического и бактериолитического эффекта оказала решающее воздействие на результат данного эксперимента. Данные исследования будут востребованы как в научном, так и в производственном плане: сокращение сроков получения трудно размножающихся генотипов для селекции, сохранение ценных генотипов биоресурсных коллекций, отработка технологий массового получения безвирусного посадочного материала

Библиографический список

1. Badjakov I., Georgiev V., Georgieva M., Dincheva I., Vrancheva R., Ivanov I., Georgiev D., Hristova D., Kondakova V., Pavlov A. Bioreactor technology for *in vitro* berry plant cultivation // Plant Cell and Tissue Differentiation and Secondary Metabolites: Fundamentals and Applications. 2021. Pp. 383–431. DOI: 10.1007/978-3-030-30185-9_18.
2. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetsky M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. Vol. 25, No. 4. Pp. 414–419. DOI: 10.18699/VJ21.046.
3. Correia S., Matos M., Leal F. Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) *in vitro* culture: a review // Horticulturae. 2024. Vol. 10, No. 6. Article number 533. DOI: 10.3390/horticulturae10060533.

4. Ромаданова Н. В., Кушнарченко С. В. Биотехнология получения безвирусных саженцев яблони // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. 2021. Т. 103, № 3. С. 102–118. DOI: 10.31489/2021BVG3/102-118.
5. Макаров С. С., Чудецкий А. И., Родин С. А., Куликова Е. И. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала лесных ягодных растений в культуре *in vitro* [Электронный ресурс]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2023. 32 с. URL: https://vniilm.ru/media/edition2023/Recommendations_growing_planting_material.pdf?ysclid=lzi3dlvev4983464521 (дата обращения: 20.07.2024).
6. Хромова Т. М., Ташматова Л. В., Мацнева О. В., Шахов В. В. Некоторые аспекты введения в культуру *in vitro* сортов смородины черной селекции ВНИИСПК // Вестник аграрной науки. 2020. № 4 (85). С. 31–36.
7. Антонов А. М., Макаров С. С., Куликова Е. И., Кузнецова И. Б., Чудецкий А. И., Кульчицкий А. Н. Особенности ризогенеза женских растений морозки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) в культуре *in vitro* // Современное садоводство. 2023. № 2. С. 51–59. DOI: 10.52415/23126701_2023_0204.
8. Кухарчик Н. В., Кастрицкая М. С., Семенов С. Э., Колбанова Е. В., Красинская Т. А., Волосевич Н. Н., Соловей О. В., Змушко А. А., Божидай Т. Н., Рундя А. П., Малиновская А. М. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука, 2016. 208 с.
9. Кузьмина Т. И., Кузнецова А. П., Федорович С. В. Повышение экономической эффективности клонального микроразмножения плодовых культур путем оптимизации периода интродукции *in vitro* эксплантов // Вестник Университета Российской академии образования. 2020. № 5. С. 51–58.
10. Супрун И. И., Амосова М. А., Егорова О. В., Лободина Е. В., Авакимян А. О. Особенности клонального микроразмножения клонового подвоя сливы ПК СК 1 // Садоводство и виноградарство. 2024. № 2. С. 5–12. DOI: 10.31676/0235-2591-2024-2-5-12.
11. Бободжанова Х. И., Кухарчик Н. В. Анализ регенерационной способности эксплантов винограда в зависимости от времени введения в культуру *in vitro* и типа экспланта // Плодоводство. 2022. Т. 32, № 1. С. 177–182.
12. Зонтиков Д. Н., Зонтикова С. А., Малахова К. В. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых хозяйственно ценных представителей рода *Rubus* L. // Агрехимия. 2021. № 6. С. 36–42. DOI: 10.31857/S0002188121060144.
13. Севет О. Л., Авдеенко И. А. Использование биологических методов при микроклональном размножении культурного винограда // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (166). С. 70–76.
14. Manole C. G., Balan V., Mencinicopschi I. C., Golea D., Rodino S., Butu A. The influence of growth regulators concentrations on *in vitro* micropropagation of *Ribes rubrum* species // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2012. Vol. 16. Pp. 26–29.
15. Dzedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants. 2013. Pp. 149–160.
16. Cárdenas M. J. S. Adaptación de protocolos de establecimiento *in vitro* de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L.: la disertación ... doctor en ciencias agrícolas. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p.
17. Никитина А. В., Ленточкин А. М., Леконцева Т. Г., Федоров А. В. Влияние способа стерилизации и срока введения в культуру *in vitro* на жизнеспособность эксплантов клонового подвоя яблони 54-118 // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2020. Т. 30, № 4. С. 411–416.
18. Ugur R. Development of *in vitro* sterilization protocol for DO-1 (*Prunus domestica*) rootstock // Applied Ecology & Environmental Research. 2020. Vol. 18 (2). DOI: 10.15666/aer/1802_23392349.
19. Singh B. K., Ali M. N., Samanta S., Mandal N. A Comparative analysis among different surface sterilisation methods for rice *in vitro* culture // International Journal of Plant Soil Science. 2021. Vol. 33 (17). Pp. 148–154.
20. Фоменко Н. Г., Жолобова О. О., Сорокопудов В. Н. Ингибирование фенольных соединений на этапе введения в культуру *in vitro* *Ribes aureum* Pursh для увеличения приживаемости эксплантов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 7. С. 85–92.
21. Князева И. В., Сорокопудов В. Н., Сорокопудова О. А. Элементы оптимизации технологии сохранения смородины черной *in vitro* // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (159). С. 48–55.
22. Sedlák J., Paprštejn F. *In vitro* establishment and proliferation of red currant cultivars // Horticultural Science. 2012. Vol. 39, No. 1. Pp. 21–25.
23. Ряго Н. В. Особенности микроклонального размножения некоторых представителей смородины рода *Ribes* spp.: обзор // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 69–80. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-69-80.

24. Шахов В. В., Федотова И. Э., Ташматова Л. В., Мацнева О. В., Хромова Т. М. Сравнительный анализ стерилизаторов на основе периодизации их использования // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12 (153). С. 38–42.
25. Камбарова А., Карипбаева Р. К., Бахтаулова А. С. Получение асептически чистой культуры смородины Мейера для введения в культуру *in vitro* // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2020. Т. 7, № 1–2. С. 80–82.
26. Аникина И. Н., Адамжанова Ж. А., Камарова А. Н., Кусаинов А. А. Преодоление микроорганизмов-контаминантов в культуре растительных тканей *in vitro* // Биологические науки Казахстана. 2020. № 4. С. 133–143.
27. Шевелуха В. С., Калашникова Е. А., Воронин Е. С. [и др.] Сельскохозяйственная биотехнология: учебник. Москва: Высшая школа, 1998. 416 с.
28. Джигадло Е. Н., Джигадло М. И., Голышкина Л. В. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами. Орел: ВНИИСПК, 2005. 51 с.
29. Мацнева О. В., Ташматова Л. В., Шахов В. В. Эффективность применения стерилизующих агентов для эксплантов земляники // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2018. Т. 5, № 1. С. 71–73.
30. Panfilova O., Kahramanoğlu I., Ondrasek G., Okatan V., Ryago N., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S. Creation and use of highly adaptive productive and technological red currant genotypes to improve the assortment and introduction into different ecological and geographical zones // Plants. 2022. Vol. 11 (6). Article number 802. DOI: 10.3390/plants11060802.
31. Panfilova O., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S., Karpukhin M. Agrometeorological and morpho-physiological studies of the response of red currant to abiotic stresses // Agronomy. 2021. Vol. 11 (8). Article number 1522. DOI: 10.3390/agronomy11081522.
32. Anikina I., Kamarova A., Issayeva K., et al. Plant protection from virus: a review of different approaches // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article number 1163270. DOI: 10.3389/fpls.2023.1163270.
33. Змушко А. А. Период покоя сельскохозяйственных растений // Плодоводство. 2021. Т. 33. С. 246–252.
34. Ковалева И. С., Мацнева А. Е., Ханбабаева О. Е., Мазаева А. С. Введение в культуру *in vitro* и клональное микроразмножение перспективного сеянца смородины черной (*Rubus nigrum* L.) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. № 12 (153). С. 43–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-43-48.
35. Чудецкий А. И., Родин С. А., Зарубина Л. В., Кузнецова И. Б., Тяк Г. В. Микроразмножение и особенности адаптации к условиям *ex vitro* лесных ягодных растений рода *Vaccinium* // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 3. С. 570–581.
36. Куликова Е. И., Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Чудецкий А. И. Особенности культивирования российских и зарубежных сортов жимолости съедобной (*Lonicera edulis* Turcz.) *in vitro* // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 4. С. 712–722.
37. Al Ghasheem N., Stănică F., Peticilă A. G., Venat O. *In vitro* effect of various sterilization techniques on peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) explants // Scientific Papers. Series B. Horticulture 2018. Vol. 227. Pp. 227–234.
38. Кастрицкая М. С., Кухарчик Н. В., Змушко А. А. Введение в культуру *in vitro* и микроразмножение сортов сливы и алычи белорусского сортимента // Плодоводство. 2018. Т. 30, № 1. С. 86–92.
39. Колпаков Н. А., Сулова К. С. Совершенствование технологии стерилизации эксплантов малины и ускорение морфогенеза в культуре *in vitro* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (232). С. 32–40. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-232-2-32-40.

Об авторах:

Нелли Васильевна Ряго, аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-2871-6126; AuthorID 1110256. E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Ольга Витальевна Панфилова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-4156-6919, AuthorID 722405. E-mail: panfilova@orel.vniispk.ru

References

1. Badjakov I., Georgiev V., Georgieva M., Dincheva I., Vrancheva R., Ivanov I., Georgiev D., Hristova D., Kondakova V., Pavlov A. Bioreactor technology for *in vitro* berry plant cultivation. *Plant Cell and Tissue Differentiation and Secondary Metabolites: Fundamentals and Applications*. 2021: 383–431. DOI: 10.1007/978-3-030-30185-9_18.

2. Kulikov I. M., Evdokimenko S. N., Tumaeva T. A., Kelina A. V., Sazonov F. F., Andronova N. V., Podgaetsky M. A. Scientific support of small fruit growing in Russia and prospects for its development. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 414–419. DOI: 10.18699/VJ21.046.
3. Correia S., Matos M., Leal F. Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) *in vitro* culture: a review. *Horticulturae*. 2024; 10 (6): 533. DOI: 10.3390/horticulturae10060533.
4. Romadanova N. V., Kushnarenko S. V. Biotechnology for obtaining virus-free apple planting stocks. *Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography series*. 2021; 103 (3): 102–118. DOI: 10.31489/2021BMG3/102-118. (In Russ.)
5. Makarov S. S., Chudetskiy A. I., Rodin S. A., Kulikova E. I. Guidelines to produce forest berry plant planting stock *in vitro* [Internet]. 2023 [cited 2024 July 10]; 32 p. Available from: https://vniilm.ru/media/edition2023/Recommendations_growing_planting_material.pdf?ysclid=lzi3dlvev4983464521. (In Russ.)
6. Khromova T. M., Tashmatova L. V., Matsneva O. V., Shakhov V. V. Some aspects of introduction into *in vitro* culture of black currant varieties (*Ribes nigrum* L.) of the russian research institute of fruit crop breeding. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 4 (85): 31–36. (In Russ.)
7. Antonov A. M., Makarov S. S., Kulikova E. I., Kuznetsova I. B., Chudetskiy A. I., Kul'chitskiy A. N. Features of rhizogenesis of female plants of cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) in *in vitro* culture. *Contemporary Horticulture*. 2023; 2: 51–59. DOI: 10.52415/23126701_2023_0204. (In Russ.)
8. Kukharchik N. V., Kastritskaya M. S., Semenas S. E., Kolbanova E. V., Krasinskaya T. A., Volosevich N. N., Solovey O. V., Zmushko A. A., Bozhiday T. N., Rundya A. P., Malinovskaya A.M. Reproduction of fruit and berry plants in culture *in vitro*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. 208 p. (In Russ.)
9. Kuz'mina T. I., Kuznetsova A. P., Fedorovich S. V. Increasing economic efficiency of clonal micro-propagation of fruit crops by optimizing period of *in vitro* explants introduction. *Herald of the University of Russian Academy of Education*. 2020; 5: 51–58. (In Russ.)
10. Suprun I. I., Amosova M. A., Egorova O. V., Lobodina E. V., Avakimyan A. O. Features of clonal micro-propagation of plum PK SK 1 clonal rootstock. *Horticulture and Viticulture*. 2024; 2: 5–12. DOI: 10.31676/0235-2591-2024-2-5-12. (In Russ.)
11. Bobodzhanova Kh. I., Kukharchyk N. V. Analysis of regenerative ability of grape explants depending on time of initiation of *in vitro* culture and type of explant. *Fruit Growing*. 2020; 32 (1): 177–182. (In Russ.)
12. Zontikov D. N., Zontikova S. A., Malakhova K. Influence of the composition of nutrient media and growth regulators during clonal micropropagation of some economically valuable representatives of the genus *Rubus* L. *Agrokhimiya*. 2021; 6: 36–42. DOI: 10.31857/S0002188121060144. (In Russ.)
13. Seget O. L., Avdeenko I. A. The use of biological methods at microclonal reproduction of cultural grapes. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021; 1 (166): 70–76. (In Russ.)
14. Manole C. G., Balan V., Mencinicopschi I. C., Golea D., Rodino S., Butu A. The influence of growth regulators concentrations on *in vitro* micropropagation of *Ribes rubrum* species. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. 2012; 16: 26–29.
15. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. 2013: 149–160.
16. Cárdenas M. J. S. Adaptación de protocolos de establecimiento *in vitro* de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L.: la disertación ... doctor en ciencias agrícolas. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p. (In Span.)
17. Nikitina A. V., Lentochkin A. M., Lekontseva T. G., Fedorov A. Influence of the sterilization method and the time of introduction into *in vitro* culture on the viability of explants of the clonal apple stock 54-118. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020; 30 (4): 411–416. (In Russ.)
18. Ugr R. Development of *in vitro* sterilization protocol for DO-1 (*Prunus domestica*) rootstock // *Applied Ecology & Environmental Research*. 2020. Vol. 18 (2). DOI: 10.15666/aer/1802_23392349.
19. Singh B. K., Ali M. N., Samanta S., Mandal N. A Comparative analysis among different surface sterilisation methods for rice *in vitro* culture. *International Journal of Plant Soil Science*. 2021; 33 (17): 148–154.
20. Fomenko N. G., Zholobova O. O., Sorokopudov V. N. Inhibition of phenol compounds at the stage of introduction *in vitro* culture *Ribes aureum* Pursh to increase explants enhability. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 7: 85–92. (In Russ.)
21. Knyazeva I. V., Sorokopudov V. N., Sorokopudova O. A. The elements of optimization of the technology for the conservation of black currant *in vitro*. *Bulletin of KSAU*. 2020; 6 (159): 48–55. (In Russ.)
22. Sedlák J., Paprštein F. *In vitro* establishment and proliferation of red currant cultivars. *Horticultural Science*. 2012; 39 (1): 21–25.
23. Ryago N. V. Features of micro clone reproduction of some currant representatives of the genus *Ribes* spp.: review. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (10): 69–80. DOI: 10.32417/1997-4868-2023- 23-10-69-80. (In Russ.)

24. Shakhov V. V., Fedotova I. E., Tashmatova L. V., Matsneva O. V., Khromova T. M. Comparative analysis of sterilizers on the basis of periodization of their use. *The Bulletin of KrasGAU*. 2019; 12 (153): 38–42. (In Russ.)
25. Kambarova A., Karipbaeva R. K., Bakhtaulova A. S. Obtaining an aseptically pure ‘Meyer’ currant culture for *in vitro* culture. *Selektsiya i Sortorazvedenie Sadovykh Kul'tur*. 2020; 7 (1-2): 80–82. (In Russ.)
26. Anikina I. N., Adamzhanova Zh. A., Kamarova A. N., Kusainov A. A. Prevention of microorganisms contaminants in the plant tissues culture. *Biological Sciences of Kazakhstan*. 2020; 4: 133–143. (In Russ.)
27. Shevelukha V. S., Kalashnikova E. A., Voronin E. S., et al. *Agricultural biotechnology: textbook*. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 416 p. (In Russ.)
28. Dzhigadlo E. N., Dzhigadlo M. I., Golyshkina L. V. Methodical recommendations for using biotechnological methods in work with fruit, berry and ornamental crops. Oryol: VNIISPK, 2005. 51 p. (In Russ.)
29. Matsneva O. V., Tashmatova L. V., Shakhov V. V. Efficiency of using sterilizing agents for strawberry explants. *Selektsiya i Sortorazvedenie Sadovykh Kul'tur*. 2018; 5(1): 71-73. (In Russ.)
30. Panfilova O., Kahramanoğlu I., Ondrasek G., Okatan V., Ryago N., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S. Creation and use of highly adaptive productive and technological red currant genotypes to improve the assortment and introduction into different ecological and geographical zones. *Plants*. 2022; 11 (6): 802. DOI: 10.3390/plants11060802.
31. Panfilova O., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S., Karpukhin M. Agrometeorological and morpho-physiological studies of the response of red currant to abiotic stresses. *Agronomy*. 2021; 11 (8): 1522. DOI: 10.3390/agronomy11081522.
32. Anikina I., Kamarova A., Issayeva K., Issakhanova S., Mustafayeva N., Insebayeva M., Mukhamedzhanova A., Khan S.M., Ahmad Z., Lho L.H., Han H., Raposo A. Plant protection from virus: a review of different approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1163270. DOI: 10.3389/fpls.2023.1163270.
33. Zmushko A. A. Dormancy period of agricultural plants. *Fruit Growing*. 2021; 33: 246–252. DOI: 10.47612/0134-9759-2021-33-246-252. (In Russ.)
34. Kovaleva I. S., Matsneva A. E., Khanbabaeva O. E., Mazaeva A. S. The introduction to culture *in vitro* and clonal micropropagation of perspective seedling of black currant (*Ribes nigrum* L.). *The Bulletin of KrasGAU*. 2019; 12 (153): 43–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-43-48. (In Russ.)
35. Chudetskiy A. I., Rodin S. A., Zarubina L. V., Kuznetsova I. B., Tyak G. V. Clonal micropropagation and peculiarities of adaptation to *ex vitro* conditions of forest berry plants of the genus *Vaccinium*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52 (3): 570–581. (In Russ.)
36. Kulikova E. I., Makarov S. S., Kuznetsova I. B., Chudetskiy A. I. Russian and foreign cultivars of honeysuckle (*Lonicera edulis* Turcz.): cultivation studies *in vitro*. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021; 51 (4): 712–722. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-712-722. (In Russ.)
37. Al Ghasheem N., Stănică F., Peticilă A. G., Venat O. *In vitro* effect of various sterilization techniques on peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) explants. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. 2018; 227: 227–234. (Web of Science)
38. Kastritskaya M. S., Kukcharchyk N. V., Zmushko A. A. *In vitro* initiation and Belarusian assortment plum and cherry plum micropropagation. *Fruit Growing*. 2018; 30 (1): 86–92. (In Russ.)
39. Kolpakov N. A., Suslova K. S. Improving the technology of sterilization of raspberry explants and accelerating morphogenesis *in vitro* culture. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024; 2 (232): 32–40. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-232-2-32-40. (In Russ.)

Authors' information:

Nelli V. Ryago, junior researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia, ORCID 0000-0003-2871-6126, AuthorID 1110256. *E-mail: ryago@orel.vniispk.ru*

Olga V. Panfilova, senior researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia, ORCID 0000-0003-4156-6919, AuthorID 722405. *E-mail: panfilova@orel.vniispk.ru*

Взаимосвязь финансовой устойчивости и эффективности деятельности на предприятиях свиноводческой отрасли

А. В. Мусьял, Д. И. Жилияков[✉], С. О. Виткалова, О. В. Петрушина

Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, Курск, Россия

[✉]E-mail: zhilyakov@yandex.ru

Аннотация. В условиях реализации продовольственного импортозамещения обеспечение устойчивого развития направлений животноводства приобрело большую значимость. Сегодня свиноводство является одним из наиболее динамично развивающихся направлений, в результате чего к 2022 г. был достигнут 100-процентный уровень самообеспечения охлажденной свининой. Регионы ЦЧР вносят существенный вклад в обеспечение населения страны свининой и продуктами ее переработки. **Целью** исследования являлась оценка взаимосвязи финансовой устойчивости и эффективности деятельности предприятий свиноводческой отрасли. Предполагается, что ухудшение экономической ситуации в 2022 г. стало причиной снижения финансовой устойчивости производителей свинины, тем самым способствуя формированию низкого уровня рентабельности их деятельности. **Методология и методы.** Применялись методы горизонтального и вертикального анализа, корреляционно-регрессионный метод. В ходе исследования определено место регионов ЦЧР в развитии свиноводства, а также на примере крупнейших по объемам производства свинины предприятий экономического района рассмотрены основные параметры производственно-экономической деятельности и выявлена взаимосвязь между ними. **Результаты.** В ходе анализа подтверждается негативное влияние ухудшения экономической ситуации в 2022 г. на развитие свиноводства в регионах ЦЧР: наблюдается снижение ликвидности, финансовой устойчивости и эффективности их деятельности в сравнении с уровнем 2019 г. На основе корреляционно-регрессионного анализа подтверждена устойчивая связь между уровнем финансовой устойчивости и эффективностью деятельности предприятий свиноводческой отрасли. Авторами делается вывод о необходимости формирования эффективной системы поддержки рынка мяса, которая, с одной стороны, будет обеспечивать баланс спроса и предложения на внутреннем рынке, тем самым обеспечивая рентабельный для производителей уровень цен, а с другой стороны – препятствовать необоснованному росту цен рамках реализации социальной функции в условиях сохраняющегося снижения уровня жизни населения. **Научная новизна** заключается в аналитическом обосновании взаимосвязи между уровнем финансовой устойчивости и эффективностью деятельности в свиноводческой отрасли.

Ключевые слова: агропродовольственный рынок, сельское хозяйство, животноводство, свиноводство, производство свинины, корреляционная взаимосвязь, финансовая устойчивость

Для цитирования: Мусьял А. В., Жилияков Д. И., Виткалова С. О., Петрушина О. В. Взаимосвязь финансовой устойчивости и эффективности деятельности на предприятиях свиноводческой отрасли // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1359–1370. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370>.

Дата поступления статьи: 08.11.2023, **дата рецензирования:** 18.06.2024, **дата принятия:** 30.07.2024.

The relationship of financial stability and efficiency of activities at the enterprises of the pig industry

A. V. Musyal, D. I. Zhilyakov✉, S. O. Vitkalova, O. V. Petrushina

Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia

✉E-mail: zhilyakov@yandex.ru

ЭКОНОМИКА

Abstract. In the context of the implementation of food import substitution, ensuring the sustainable development of animal husbandry has become of great importance. Today, pig farming is one of the most dynamically developing areas, as a result of which a 100 % level of self-sufficiency in chilled pork was achieved by 2022. The regions of the Central Black Earth region make a significant contribution to the provision of pork and processed products to the population of the country. **The purpose** of the study was to assess the relationship between financial stability and efficiency of pig industry enterprises. It is assumed that the deterioration of the economic situation in 2022 caused a decrease in the financial stability of pork producers, thereby contributing to the formation of a low level of profitability of their activities. **Methodology and methods.** Horizontal and vertical analysis methods, correlation and regression method were used as analysis tools. In the course of the study, the place of the CDR regions in the development of pig farming was determined, and the main parameters of production and economic activity were considered and the relationship between them was revealed using the example of the largest pork production enterprises of the economic district. **Results.** The analysis confirms the negative impact of the deterioration of the economic situation in 2022 on the development of pig farming in the regions of the Central Black Earth region: there is a decrease in liquidity, financial stability and efficiency of their activities in comparison with the level of 2019. On the basis of correlation and regression analysis, a stable relationship between the level of financial stability and the efficiency of the pig industry enterprises has been confirmed. The authors conclude that it is necessary to form an effective system of support for the meat market, which, on the one hand, will ensure a balance of supply and demand in the domestic market, thereby ensuring a cost-effective price level for producers, and on the other hand, to prevent unjustified price increases as part of the implementation of a social function in the conditions of a continuing decline in the standard of living of the population. **The scientific novelty** is analytical substantiation of the relationship between the level of financial stability and the efficiency of activities in the pig industry.

Keywords: agri-food market, agriculture, animal husbandry, pig breeding, pork production, correlation relationship, financial stability

For citation: Musyal A. V., Zhilyakov D. I., Vitkalova S. O., Petrushina O. V. The relationship of financial stability and efficiency of activities at the enterprises of the pig industry. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1359–1370. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370>. (In Russ.)

Date of paper submission: 08.11.2023, **date of review:** 18.06.2024, **date of acceptance:** 30.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Для России растениеводство остается ведущей подотраслью АПК, при этом в условиях изменения внешнеполитической обстановки и последующем вводе продовольственного эмбарго развитие животноводства также приобрело более значимую роль [1]. Одним из приоритетных направлений в животноводстве России является развитие свиноводства, поскольку свинина пользуется высоким спросом со стороны населения, имеет ряд преимуществ как с точки потребительской ценности, так и с позиции экономики сельского хозяйства [2; 3]. Выращивание свинины является менее экономически затратным, а также имеет более короткий производственный цикл, что формирует ее неоспоримые преимущества перед говядиной [4]. Свинина имеет более высокую энергетическую ценность (калорийность) в сравнении с говядиной, при этом средние

цены на данный вид мяса на 25–30 % ниже, чем на говядину, что выгодно выделяет ее в условиях снижения покупательной способности населения [5].

В рамках достижения основных параметров Доктрины продовольственной безопасности за последние 5–7 лет удалось обеспечить высокий объем производства свинины в стране, в результате чего уровень самообеспечения в 2022 году превысил 100 % [6]. Это, с одной стороны, формирует экспортный потенциал данного продовольственного направления, поскольку предложение на рынке начинает превышать платежеспособный спрос [7]. С другой стороны, изменение внешнеполитической ситуации в 2022 году и усиление санкционных ограничений существенно препятствует развитию экспортного потенциала во многих сферах экономики России, в том числе и сельском хозяйстве [8]. Несмотря на это, важным направлением для пере-

хода на новый этап развития свиноводства является усиление его экспортной направленности [9]. Если говорить о внутреннем рынке, то возможности расширения производства свинины и обеспечения устойчивого спроса на мясную продукцию зависят от социального развития через борьбу с бедностью в долгосрочной перспективе [10].

Сегодня одной из концентрированных географических зон развития свиноводства в России являются регионы Центрально-Черноземного экономического района (ЦЧР), что связано с высоким аграрным потенциалом данной зоны и соответствующими экономическими особенностями. Одной из предпосылок для развития свиноводства здесь является наличие качественной кормовой базы, которую дает развитое и результативное зерновое хозяйство [11; 12]. Поскольку зерно остается одним из драйверов развития смежных отраслей животноводства, важную роль приобретает усиление их ресурсной поддержки на основе государственного регулирования экспорта зерновых [13, 14].

Сегодня регионы ЦЧР вносят существенный вклад в обеспечение населения страны свининой и продуктами ее переработки, в экономическом районе выделяется целый ряд крупнейших предприятий отрасли, которые в совокупности производят более трети от общего объема мяса в стране [15]. Одной из особенностей предприятий данной отрасли является большая доля заемных средств в общей структуре, что вызвано дефицитом поддержки отрасли. Это в условиях ухудшения деловой активности способно привести к снижению финансовой устойчивости предприятий и поставить под угрозу стабильное функционирование рынка мяса [16]. Изменение общеэкономической ситуации в 2022 году и планомерное повышение ставки рефинансирования ЦБ в 2023 году на фоне сохраняющегося снижения курса рубля существенно ухудшили положение крупнейших производителей свинины, чем и обусловлена актуальность исследования.

Цель исследования – оценка взаимосвязи финансовой устойчивости и эффективности деятельности предприятий свиноводческой отрасли.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) провести оценку развития свиноводческой отрасли в России и регионах Черноземья;
- 2) установить вклад данного экономического округа в общее производство свинины в стране;
- 3) рассмотреть на примере десяти крупнейших предприятий свиноводства в Черноземье основные параметры финансовой устойчивости и эффективности;
- 4) установить степень и характер их взаимосвязи.

Методология и методы исследования (Methods)

При проведении исследования были использованы статистические данные Бюллетеней о состо-

янии сельского хозяйства в России в период 2019–2022 гг.; данные отраслевого рейтинга фирм по виду деятельности разведение свиней (код ОКВЭД 46.11), на основе которого были выделены наиболее крупные предприятия исследуемого экономического района – Центрально-Черноземного. На основе данных государственного информационного ресурса бухгалтерской (финансовой) отчетности для данных предприятий были рассмотрены основные параметры производственно-экономической деятельности в 2022 году по сравнению с 2019 годом.

Выбор ЦЧР в качестве географической зоны исследования обусловлен общим высоким аграрным потенциалом входящих в его состав регионов, вносящих существенный вклад в развитие АПК и обеспечение страны продукцией свиноводства. В качестве базисного периода исследования был выбран 2019 год, поскольку отражает достигнутые результаты в развитии свиноводства регионов ЦЧР за первые 5 лет в условиях продовольственного эмбарго. Сопоставление с данными за 2022 год позволяет выявить произошедшие за последние несколько лет изменения, связанные с усилением экономической и политической нестабильности.

На первом этапе исследования проводится оценка общих тенденций развития свиноводства в Черноземном экономическом районе, оценивается его вклад в обеспечение продукцией свиноводства ЦФО и всей страны в целом. На втором этапе исследования проводится оценка внутри ЦЧР, рассматривается роль каждого из пяти регионов в развитии свиноводства в экономическом районе. На третьем этапе исследования проводится анализ основных показателей финансово-хозяйственной деятельности в разрезе крупнейших предприятий ЦЧР, которые занимаются разведением свиней. Выбор предприятий был осуществлен на основе данных отраслевого рейтинга фирм, при этом в качестве критерия отбора был установлен размер выручки и активов на уровень более 5 млрд рублей по итогам 2022 года. В полученную выборку вошли десять предприятий ЦЧР, которые нами были приняты в качестве наиболее значимых в развитии свиноводства в экономическом районе. Для исследуемых предприятий были рассмотрены в динамике за 2019 и 2022 годы основные индикаторы финансовой устойчивости и эффективности деятельности, а также была установлена взаимосвязь между ними на основе расчета парных коэффициентов корреляции и их интерпретации в соответствии со шкалой Чеддока.

Результаты (Results)

В ЦЧР свиноводство является устойчивым направлением животноводства, что подтверждается растущей динамикой поголовья свиней и общего объема производства свинины в убойном весе в последнее десятилетие. В данном экономическом рай-

оно поголовье свиней устойчиво составляет более 10 млн голов, а объем выращивания свиней превышает 2 млн тонн. Это свидетельствует о том, что регионы ЦЧР вносят заметный вклад в производство свинины в стране и, следовательно, в обеспечение продовольственной безопасности, поскольку данное направление входит в число приоритетных в рамках актуальной Доктрины продовольственной безопасности. Также необходимо отметить устойчивость основных индикаторов развития свиноводства в ЦЧР по годам, что говорит об устойчивости производства (рис. 1).

В масштабах ЦФО удельный вес регионов ЦЧР в общем размере поголовья свиней является преобладающим, хотя и снизился за 4 года практически на 10 %, что свидетельствует о динамичном развитии свиноводства и в других регионах округа. При этом доля регионов ЦЧР в общем объеме производства свинины снизилась только на 7,5 % и в 2022 году по-прежнему превышает 70 %, что позволяет говорить о преобладающей позиции регионов данного экономического района.

Оценка позиции ЦЧР в производстве свинины в масштабах всей страны показала, что суммарно на регионы данного экономического района приходится более одной трети от общего размера поголовья свиней, при этом за 4 года доля в общей структуре

поголовья снизилась на 2,4 %. В общем объеме производства свинины в убойном весе регионы ЦЧР в 2022 году составили 37,4 %, что также позволяет отметить существенный вклад регионов данного экономического района в производство с учетом их небольшого числа и общей площади (рис. 2).

Несмотря на то что регионы ЦЧР характеризуются отчетливой аграрной специализацией, даже внутри экономического района сохраняется существенная дифференциация. В результате наибольший объем производства свинины в убойном весе приходится на Белгородскую область, где в 2019 году было произведено практически 18 % от общего объема мяса по стране, а к 2022 году показатель снизился до 15 %. Вторым регионом экономического района по значимости является Курская область, доля которого выросла до 8,5 % к 2022 году, а третье место принадлежит Воронежской области, где производится 7,2 % от общего объема свинины в стране по итогам 2022 года. Вклад Липецкой и Тамбовской областей в общий объем производства свинины в России не превышает 5 % для каждой и снижается. В результате Воронежская и Курская области – единственные регионы ЦЧР, наращивающие свой вклад в производство данного вида мяса (рис. 3).

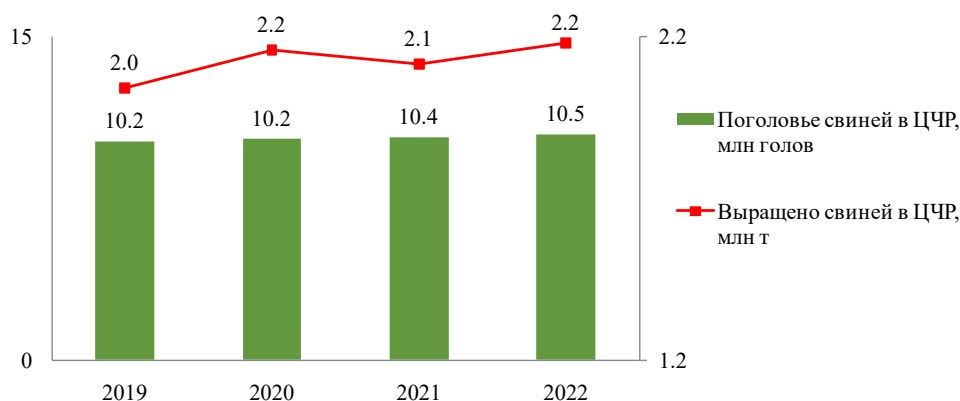


Рис. 1. Динамика поголовья свиней и общего объема производства свинины (в убойном весе) в регионах Черноземья

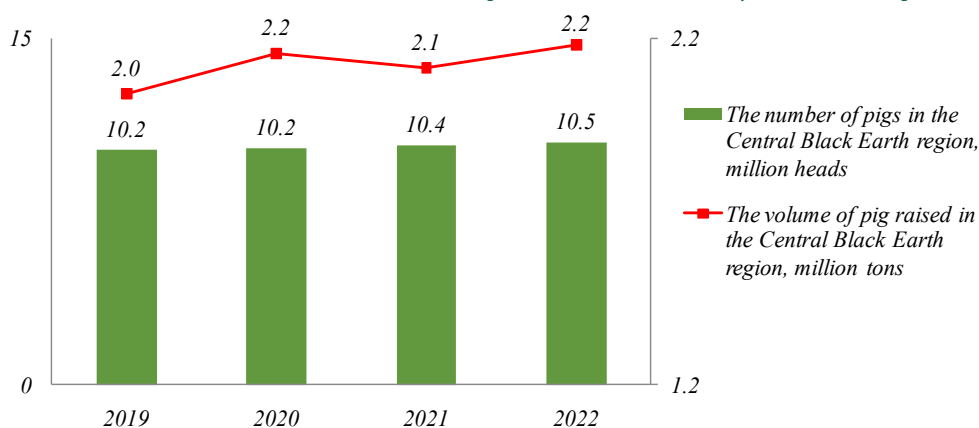


Fig. 1. Dynamics of pig population and total pork production (in slaughter weight) in the regions of the Central Black Earth region

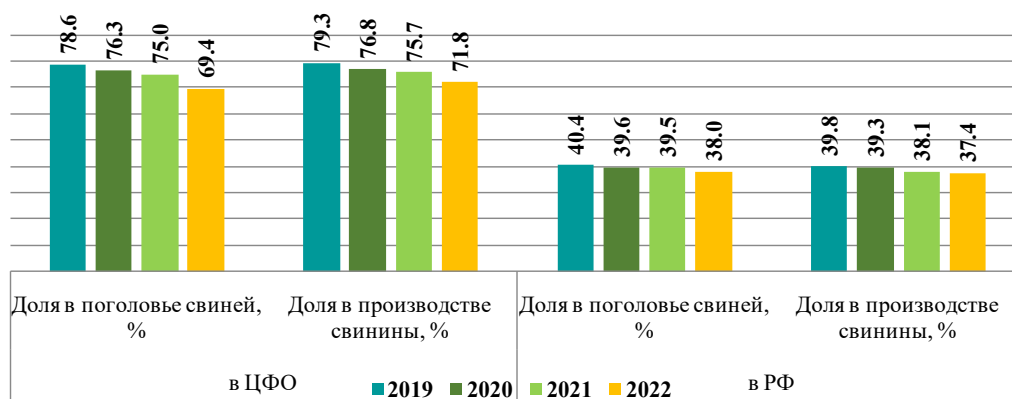


Рис. 2. Динамика доли регионов Черноземья в поголовья свиней и общего объема производства свинины (в убойном весе) в ЦФО и РФ

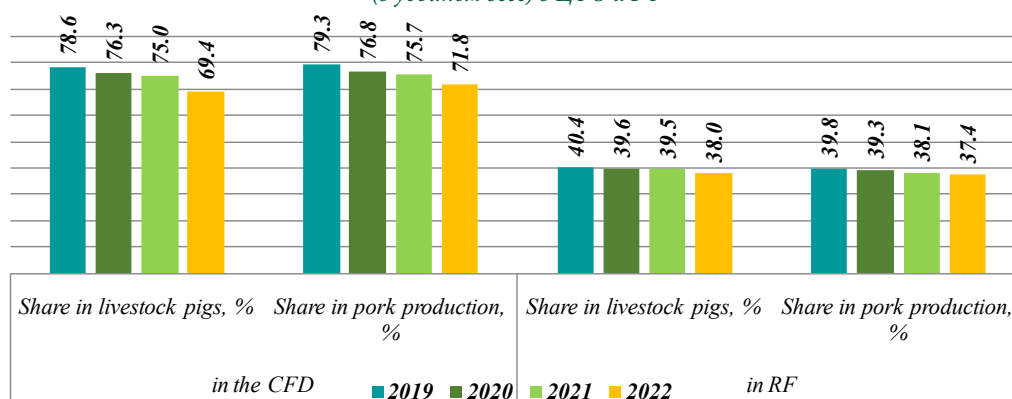


Fig. 2. Dynamics of the share of Central Black Earth regions in the number of pigs and total pork production (in slaughter weight) in the CFD and the RF

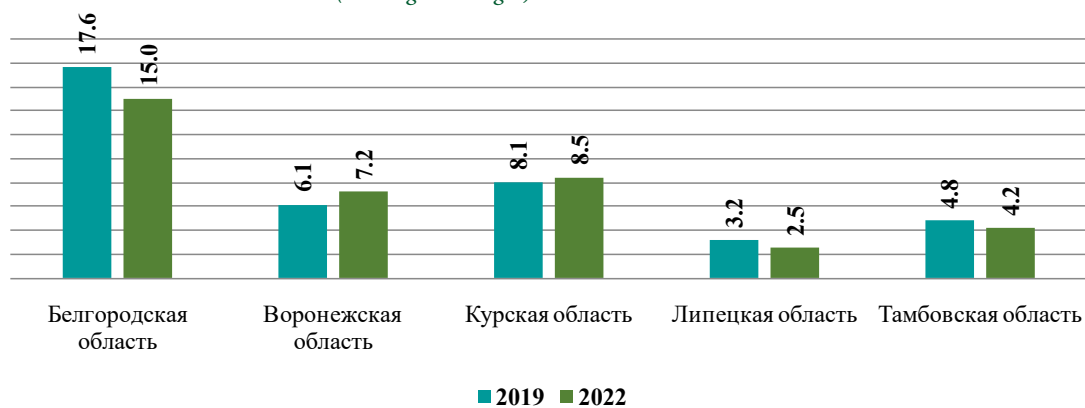


Рис. 3. Сравнение удельного веса регионов ЦЧР в производстве свинины (в убойном весе) в России, %

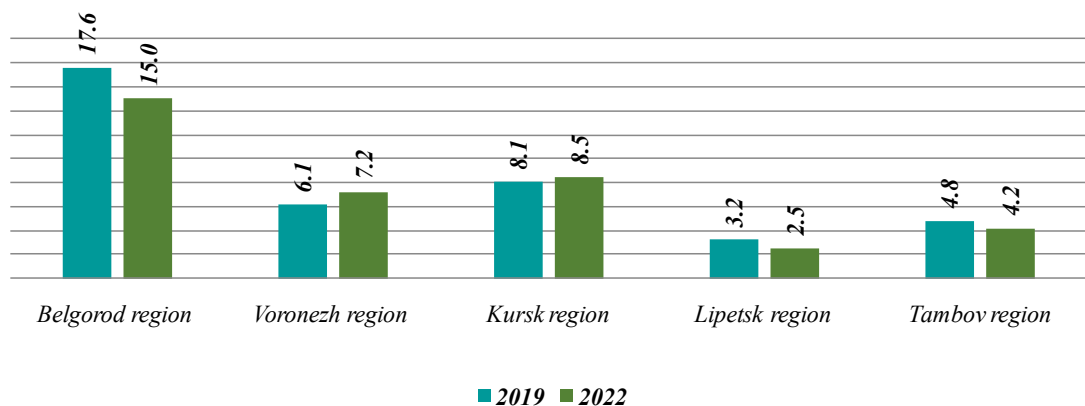


Fig. 3. Comparison of the share of Central Black Earth regions in pork production (in slaughter weight) in Russia, %

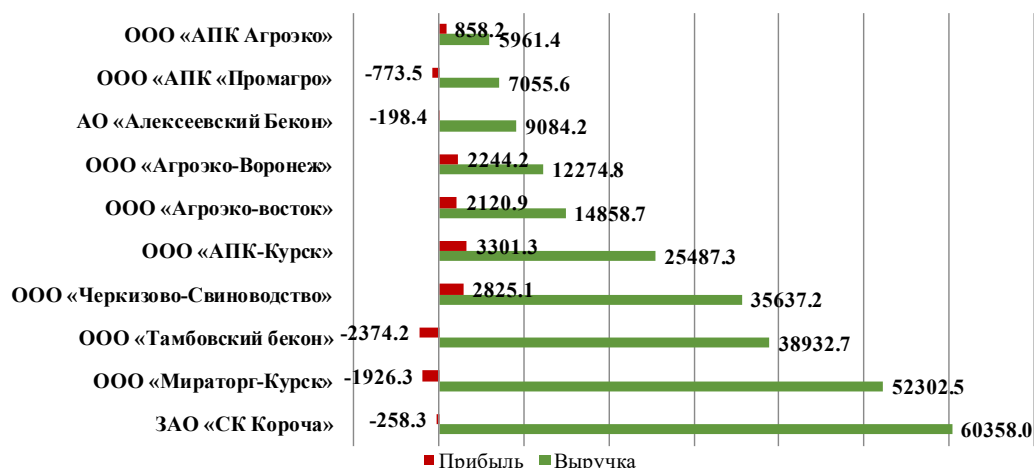


Рис. 4. Сравнение выручки и чистой прибыли в разрезе крупнейших предприятий в ЦЧР, занимающихся производством свинины, в 2022 гг., млн руб.

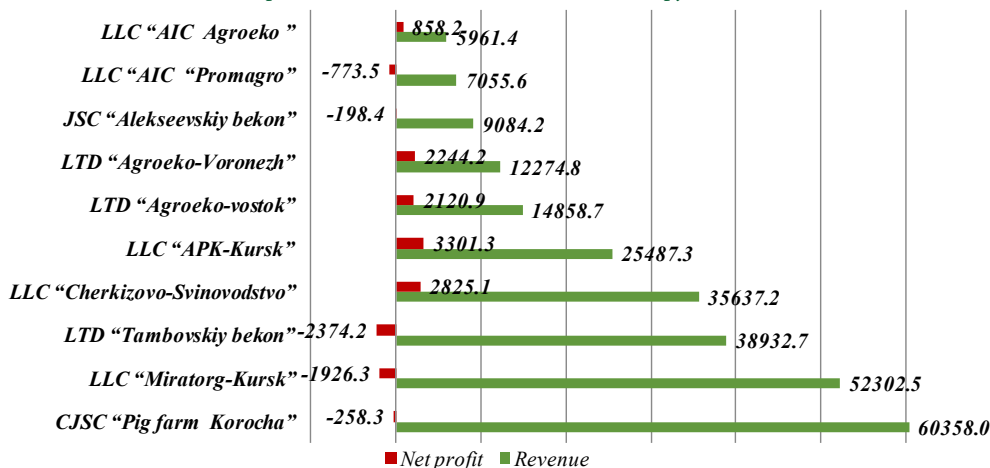


Fig. 4. Comparison of revenue and net profit in the context enterprises in the Central Black Earth region engaged in pork production in 2022, million rubles

Среди крупнейших предприятий отрасли свиноводства в экономическом районе в 2022 году объем выручки варьировал в пределах 6–60,4 млрд руб., при этом особо можно отметить ЗАО «СК Короча» и ООО «Мираторг-Курск», где показатель превысил 50 млрд руб. Это позволяет выделить данные предприятия в качестве наиболее значимых в ЦЧР, характеризующихся наибольшим объемом производства и реализации свинины. Еще в трех предприятиях выборки объем выручки в 2022 году превысил 25 млрд руб., в двух других составил более 10 млрд руб. В результате отмечено, что даже в разрезе крупнейших предприятий отрасли сохраняется заметная дифференциация по масштабам деятельности, при этом разрыв составляет практически 10 раз между предприятиями с наибольшим и наименьшим объемом выручки.

При этом совокупный финансовый результат был положительным только у пяти из десяти рассматриваемых предприятий, а другими был получен чистый убыток на уровне 198,4–2374,2 млн руб. Стоит отметить, что для трех предприятий с наибольшим размером полученной выручки по ито-

гам 2022 года конечный финансовый результат характеризуется получением чистого убытка, что во многом может быть связано с высокой кредитной нагрузкой. Наибольший размер чистой прибыли получен предприятиями со средним размером выручки – занимающими 4–7 позиции рейтинга (рис. 4).

Одной из причин ухудшения финансовых результатов деятельности крупнейших предприятий отрасли свиноводства в Черноземье является усугубление экономической ситуации в 2022 году, что стало причиной начала очередного этапа кризиса. Высокая стратегическая значимость предприятий свиноводства в продовольственном обеспечении предопределяет актуальность оценки основных параметров финансовой устойчивости и эффективности деятельности, а также выявление их взаимосвязи.

Среди рассматриваемых крупнейших предприятий ЦЧР по производству свинины самый высокий уровень абсолютной ликвидности активов в 2019 году отмечался в АО «Алексеевский Бекон», которое было способно погасить более 200 % своих обязательств за счет денежных средств и фи-

нансовых вложений. Также оптимальный уровень ликвидности активов отмечался в ООО «Мираторг-Курск». К 2022 году в пяти предприятиях отрасли произошло снижение абсолютной ликвидности, что говорит о снижении объема ликвидных активов на балансах предприятий или же о росте объемов их обязательств. Сохранить общую динамику к росту ликвидности к 2022 году удалось только половине предприятий, при этом высокий уровень абсолютной ликвидности активов в отчетном периоде сохранился только в ООО «Агроэко-Воронеж» (таблица 1).

Немаловажным параметром обеспечения финансовой устойчивости является формирование высокого уровня независимости от внешних кредиторов. Среди крупнейших производителей свинины в ЦЧР в 2019 году высокий уровень автономии отмечался только в двух предприятиях, где более 50 % источников формирования имущества являлись собственными средствами. К 2022 году

отмечено увеличение числа предприятий с оптимальным уровнем финансовой независимости до трех, но вместе с тем большинство предприятий по-прежнему сильно зависят от внешних обстоятельств, что не позволяет говорить о финансово устойчивом положении. Особо стоит выделить предприятие с наибольшим размером выручки по итогам 2022 года – ЗАО «СК Короча», которое имеет крайне низкий уровень ликвидности и финансовой устойчивости, при том что масштабы его деятельности являются наиболее крупными в экономическом районе. Это связано с тем, что источники формирования имущества предприятия более чем на 95 % сформированы за счет заемных средств, а следовательно, на расходы по обслуживанию кредитов и обязательств уходит значительная часть прибыли, что в конечном счете дает отрицательный финансовый результат по итогам года даже при таком обороте.

Таблица 1
Показатели абсолютной ликвидности и финансовой независимости в разрезе крупнейших предприятий в ЦЧР, занимающихся производством свинины (2019 и 2022 гг.)

	Предприятие	Коэффициент абсолютной ликвидности ($n > 0,2$)			Коэффициент автономии ($n > 0,5$)		
		2019	2022	Изменение	2019	2022	Изменение
1	ЗАО «СК Короча»	0,04	< 0,01	–	0,03	0,03	–
2	ООО «Мираторг-Курск»	0,97	0,03	–0,94	0,19	0,16	–0,03
3	ООО «Тамбовский бекон»	0,04	0,28	0,24	0,42	0,41	–0,01
4	ООО «Черкизово-Свиноводство»	0,16	< 0,01	–	0,23	0,27	0,04
5	ООО «АПК-Курск»	0,32	0,38	0,06	0,20	0,29	0,09
6	ООО «Агроэко-восток»	0,14	0,39	0,25	0,40	0,38	–0,02
7	ООО «Агроэко-Воронеж»	0,19	1,17	0,98	0,35	0,59	0,24
8	АО «Алексеевский Бекон»	2,35	0,43	–1,92	0,56	0,52	–0,04
9	ООО «АПК «Промагро»	0,07	< 0,01	–	0,33	0,09	–0,24
10	ООО «АПК Агроэко»	0,04	0,15	0,11	0,64	0,78	0,14

Источник: составлено авторами.

Table 1
Indicators of absolute liquidity and financial independence in the context of the largest enterprises in the Central Black Earth region engaged in pork production (2019 and 2022)

	Company	Absolute liquidity ratio ($n > 0,2$)			The coefficient of autonomy ($n > 0,5$)		
		2019	2022	Change	2019	2022	Change
1	CJSC "Pig farm Korocha"	0.04	< 0.01	–	0.03	0.03	–
2	LLC "Miratorg-Kursk"	0.97	0.03	–0.94	0.19	0.16	–0.03
3	LTD "Tambovskiy bekon"	0.04	0.28	0.24	0.42	0.41	–0.01
4	LLC "Cherkizovo-Svinovodstvo"	0.16	< 0.01	–	0.23	0.27	0.04
5	LLC "APK-Kursk"	0.32	0.38	0.06	0.20	0.29	0.09
6	LTD "Agroeko-vostok"	0.14	0.39	0.25	0.40	0.38	–0.02
7	LTD "Agroeko-Voronezh"	0.19	1.17	0.98	0.35	0.59	0.24
8	JSC "Alekseevskiy bekon"	2.35	0.43	–1.92	0.56	0.52	–0.04
9	LLC "AIC "Promagro"	0.07	< 0.01	–	0.33	0.09	–0.24
10	LLC "AIC Agroeko"	0.04	0.15	0.11	0.64	0.78	0.14

Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Показатели финансовой устойчивости независимости в разрезе крупнейших предприятий в ЦЧР, занимающихся производством свинины (2019 и 2022 гг.)

	Предприятие	Доля устойчивого капитала			Коэффициент соотношения собственных и заемных средств		
		2019	2022	Изменение	2019	2022	Изменение
1	ЗАО «СК Короча»	0,29	0,46	0,17	0,04	0,03	-0,01
2	ООО «Мираторг-Курск»	0,89	0,79	-0,1	0,24	0,19	-0,05
3	ООО «Тамбовский бекон»	0,66	0,50	-0,16	0,73	0,68	-0,05
4	ООО «Черкизово-Свиноводство»	0,66	0,42	-0,24	0,30	0,36	0,06
5	ООО «АПК-Курск»	0,86	0,85	-0,01	0,26	0,40	0,14
6	ООО «Агроэко-восток»	0,79	0,76	-0,03	0,66	0,62	-0,04
7	ООО «Агроэко-Воронеж»	0,79	0,76	-0,03	0,55	1,46	0,91
8	АО «Алексеевский Бекон»	0,89	0,56	-0,33	1,26	1,07	-0,19
9	ООО «АПК «Промагро»	0,66	0,13	-0,53	0,50	0,10	-0,4
10	ООО «АПК Агроэко»	0,73	0,79	0,06	1,77	3,57	1,8

Источник: составлено авторами.

Table 2

Indicators of financial stability of independence in the context of the largest enterprises in the Central Black Earth region engaged in pork production (2019 and 2022)

	Company	For sustainable capital			The ratio of own and borrowed funds		
		2019	2022	Change	2019	2022	Change
1	CJSC "Pig farm Korocha"	0.29	0.46	0.17	0.04	0.03	-0.01
2	LLC "Miratorg-Kursk"	0.89	0.79	-0.1	0.24	0.19	-0.05
3	LTD "Tambovskiy bekon"	0.66	0.50	-0.16	0.73	0.68	-0.05
4	LLC "Cherkizovo-Svinovodstvo"	0.66	0.42	-0.24	0.30	0.36	0.06
5	LLC "APK-Kursk"	0.86	0.85	-0.01	0.26	0.40	0.14
6	LTD "Agroeko-vostok"	0.79	0.76	-0.03	0.66	0.62	-0.04
7	LTD "Agroeko-Voronezh"	0.79	0.76	-0.03	0.55	1.46	0.91
8	JSC "Aleksееvskiy bekon"	0.89	0.56	-0.33	1.26	1.07	-0.19
9	LLC "AIC "Promagro"	0.66	0.13	-0.53	0.50	0.10	-0.4
10	LLC "AIC Agroeko"	0.73	0.79	0.06	1.77	3.57	1.8

Source: compiled by the authors.

Доля устойчивого капитала в 2019 году только в шести предприятиях находилась на оптимальном уровне и превышала 75 %. К 2022 году общей тенденцией является снижение доли устойчивого капитала. Существенное ухудшение положения за рассматриваемый период произошло в ООО «АПК «Промагро», где доля устойчивого капитала снизилась с 66 % до 13 %. Несмотря на это, по итогам 2022 года также только в пяти предприятиях источники формирования имущества были более чем на 75 % сформированы за счет устойчивых ресурсов – собственных средств и долгосрочных заемных, в то время как в оставшихся преобладают краткосрочные заемные средства, что существенно повышает риск потери финансовой устойчивости в случае снижения деловой активности (таблица 2).

Коэффициент соотношения собственных и заемных средств в структуре источников формирования имущества в разрезе рассматриваемых предприятий ЦЧР характеризуется существенной дифференциацией. Наиболее благоприятная ситуа-

ция отмечена в ООО «АПК Агроэко», где величина собственных средств в расчете на 1 рубль заемных за 4 года выросла с 1,77 до 2,58 рубля. Также преобладание собственных источников формирования имущества отмечено в АО «Алексеевский Бекон», где в 2022 году на 1 рубль заемных средств приходилось 1,67 рубля средств собственных. Для оставшихся предприятий ситуация складывается таким образом, что в расчете на 1 рубль заемных средств приходится менее 1 рубля средств собственных. Это говорит о высоком уровне финансовой зависимости предприятий отрасли и способно поставить под угрозу устойчивое финансовое положение.

Сопоставление уровня рентабельности продаж в крупнейших предприятиях в ЦЧР, занимающихся производством свинины в 2019 и 2022 годах, показало, что общей тенденцией является снижение эффективности производства и во многом это обусловлено динамичным ростом затрат. Единственным предприятием, где сохранилась динамика к росту уровня рентабельности продаж к 2022 году,

является ЗАО «СК Короча», что во многом связано с общей низкой эффективностью реализационной деятельности данного предприятия. В базисном периоде наибольший уровень рентабельности продаж отмечался в ООО «Агроэко-Воронеж» (практически 30 %), а у предприятия с наибольшим размером выручки ЗАО «СК Короча» рентабельность продаж составила 0,6 %. К 2022 году в наибольшей степени рентабельность продаж снизилась в ООО «Мираторг-Курск» – более чем на 25 %. Рентабельность производства в рассматриваемых предприятиях варьирует схожим образом: в наибольшей степени снизилась эффективность производственной деятельности в ООО «Мираторг-Курск» – более чем на 35 %. Среди прочих предприятий наибольший уровень эффективности производства сохраняется в ООО «Агроэко-Воронеж», где в 2022 году рентабельность производства составила практически 30 %. В целом в разрезе крупнейших предприятий отрасли сохраняется существенная дифференциация уровня эффективности производствен-

ной и реализационной деятельности, что во многом обусловлено не только отраслевыми проблемами, но и внутренними – в каждом конкретном предприятии (таблица 3).

Оценка взаимосвязи между уровнем финансовой устойчивости и эффективностью деятельности в рассматриваемых крупнейших предприятиях отрасли свиноводства позволила выявить наличие устойчивой взаимосвязи между данными индикаторами. При этом в качестве параметра финансовой устойчивости нами была выбрана доля устойчивого капитала, поскольку в современных экономических условиях заемные средства являются неотъемлемой составляющей капитала, поэтому важно, чтобы в их структуре преобладали долгосрочные средства. Это связано с тем, что долгосрочные обязательства имеют более длительный срок возврата, в связи с чем в период кризисных явлений и спада в производственно-экономической деятельности не способны оказать существенного влияния на финансовую устойчивость (рис. 5).

Таблица 3
Показатели эффективности производственной и реализационной деятельности в разрезе крупнейших предприятий в ЦЧР, занимающихся производством свинины (2019 и 2022 гг.)

	Предприятие	Рентабельность продаж, %			Рентабельность производства, %		
		2019	2022	Изменение	2019	2022	Изменение
1	ЗАО «СК Короча»	0,6	3,2	2,7	0,6	3,3	2,8
2	ООО «Мираторг-Курск»	27,0	1,5	-25,5	37,0	1,5	-35,5
3	ООО «Тамбовский бекон»	11,5	-4,1	-15,6	13,0	-3,9	-16,9
4	ООО «Черкизово-Свиноводство»	18,5	12,2	-6,3	22,7	13,8	-8,8
5	ООО «АПК-Курск»	24,1	18,2	-6,0	31,8	22,2	-9,6
6	ООО «Агроэко-восток»	20,8	16,1	-4,6	26,2	19,2	-7,0
7	ООО «Агроэко-Воронеж»	29,8	23,0	-6,8	42,4	29,9	-12,5
8	АО «Алексеевский Бекон»	8,2	4,2	-4,0	9,0	4,4	-4,5
9	ООО «АПК «ПромАгро»	6,9	-8,1	-15,0	7,4	-7,5	-14,9
10	ООО «АПК Агроэко»	18,2	16,8	-1,4	22,2	20,1	-2,1

Источник: составлено авторами.

Table 3
Performance indicators of production and sales activities in the context of the largest enterprises in the Central Black Earth region engaged in pork production (2019 and 2022)

	Company	Profitability of sales, %			Profitability of production, %		
		2019	2022	Change	2019	2022	Change
1	CJSC "Pig farm Korocha"	0.6	3.2	2.7	0.6	3.3	2.8
2	LLC "Miratorg-Kursk"	27.0	1.5	-25.5	37.0	1.5	-35.5
3	LTD "Tambovskiy bekon"	11.5	-4.1	-15.6	13.0	-3.9	-16.9
4	LLC "Cherkizovo-Svinovodstvo"	18.5	12.2	-6.3	22.7	13.8	-8.8
5	LLC "APK-Kursk"	24.1	18.2	-6.0	31.8	22.2	-9.6
6	LTD "Agroeko-vostok"	20.8	16.1	-4.6	26.2	19.2	-7.0
7	LTD "Agroeko-Voronezh"	29.8	23.0	-6.8	42.4	29.9	-12.5
8	JSC "Aleksееvskiy bekon"	8.2	4.2	-4.0	9.0	4.4	-4.5
9	LLC "AIC "Promagro"	6.9	-8.1	-15.0	7.4	-7.5	-14.9
10	LLC "AIC Agroeko"	18.2	16.8	-1.4	22.2	20.1	-2.1

Source: compiled by the authors.

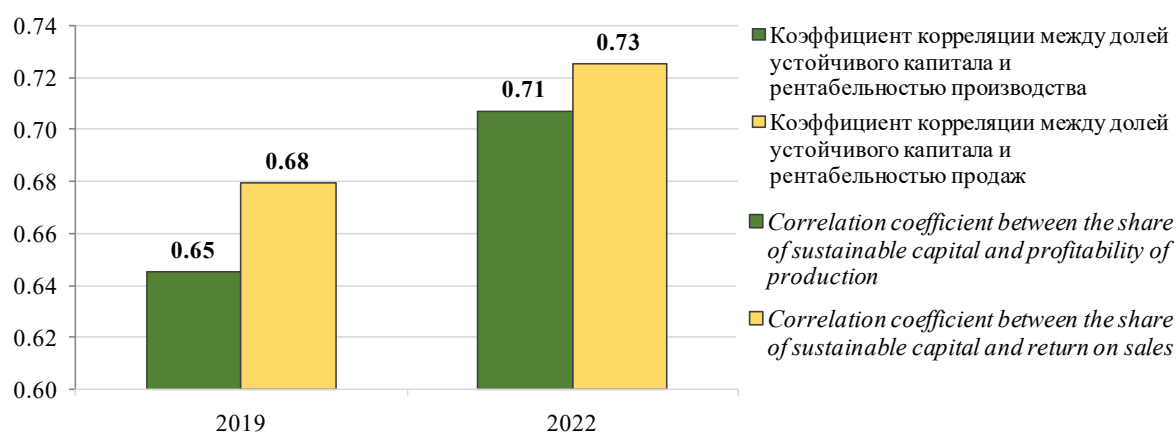


Рис. 5. Оценка взаимосвязи финансовой устойчивости и эффективности деятельности в разрезе крупнейших предприятий в ЦЧР, занимающихся производством свинины в 2019 и 2022 гг.

Fig. 5. Assessment of the relationship between financial stability and performance in the context of the largest enterprises in the Central Black Earth region engaged in pork production in 2019 and 2022

В результате в 2019 году между долей устойчивого капитала в разрезе крупнейших предприятий отрасли и рентабельностью производства и продаж существовала прямая и умеренная связь. Это позволяет говорить о том, что на предприятиях с более высокой долей устойчивого капитала эффективность производства и продаж выше, чем на тех, где преобладают краткосрочные заемные средства. К 2022 году стохастическая связь между данными индикаторами усилилась и стала тесной. Это говорит о том, что в условиях кризиса роль устойчивого финансового положения в достижении высокой эффективности производственной и реализационной деятельности возросла. К числу причин сложившейся ситуации относятся высокая закредитованность предприятий свиноводческого профиля и высокая кредитная нагрузка на фоне роста ставок по кредитам.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Усиление кризиса в 2022 году оказало негативное влияние на развитие АПК России и его отдельных направлений. Несмотря на поддержание физического объема производства сельскохозяйственной продукции, для свиноводства ЦЧР в последние годы характерны общие для страны тенденции, связанные со снижением результативности деятельности крупнейших предприятий отрасли. Обеспечение финансовой устойчивости является одним из факторов высокой эффективности деятельности и залогом стабильности функционирования рынка. Это подтверждается тесной коррелированностью доли устойчивого капитала и рентабельности производства и продаж в разрезе крупнейших предприятий свиноводческой отрасли в ЦЧР, который вносит ощутимый вклад в обеспечение потребительского рынка свининой.

Сравнительная оценка основных параметров производственно-экономической деятельности

предприятий свиноводческого подкомплекса Черноземья показала, что к 2022 году ситуация несколько ухудшилась относительно уровня 2019 года. Это обусловлено дальнейшим усилением экономического кризиса, что привело к значительному удорожанию себестоимости производства по сравнению с темпами роста выручки. Одним из ограничений является социальная значимость свинины как одного из главных видов продовольствия, что накладывает определенные рамки на рост цен. В итоге с учетом необходимости поддержания конкурентоспособного уровня цен на продукцию происходит снижение рентабельности деятельности производителей. Сопутствующая высокая кредитная нагрузка у крупнейших предприятий свиноводческой отрасли в сложившихся обстоятельствах приводит к отрицательному совокупному результату, что способно поставить под угрозу финансовую устойчивость и их нормальное функционирование. Кроме того, сегодня внутренний рынок свинины уже близок к перенасыщению, что актуализирует расширение географии сбыта, поскольку развитие экспортной направленности будет способствовать санации и рынка и поддержанию уровня цен. В условиях ограничения импорта неизбежным станет снижение рыночных цен, что приведет к убыточности деятельности производителей и последующему банкротству.

В сложившихся обстоятельствах немаловажное значение приобретает формирование эффективной системы поддержки рынка мяса, которая, с одной стороны, будет обеспечивать баланс спроса и предложения на внутреннем рынке, тем самым обеспечивая рентабельный для производителей уровень цен, а с другой стороны, будет препятствовать необоснованному росту цен в рамках реализации социальной функции в условиях сохраняющегося снижения уровня жизни населения. Кризис-

ное состояние экономики актуализирует усиление государственной поддержки и формирование эффективного механизма субсидирования для предприятий свиноводческой отрасли, испытывающих

существенный дефицит финансовых средств для развития, что позволит снизить уровень кредитной нагрузки и обеспечить более высокий уровень финансовой устойчивости и прибыли.

Библиографический список

1. Жилияков Д. И., Плахутина Ю. В., Зарецкая В. Г. [и др.] Проблемы и перспективы развития отрасли животноводства в регионе // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 97–105.
2. Штоколова К. В., Федулов М. А. Тенденции развития растениеводства России в условиях экономического кризиса на фоне пандемии коронавируса // Славянский форум. 2021. № 3 (33). С. 305–316.
3. Рассказов А. Н. Реализация государственной программы развития сельского хозяйства и основные направления развития животноводства // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 3 (35). С. 152–156.
4. Литвинова Е. В. Главные вызовы российскому свиноводству // Мясные технологии. 2020. № 1 (205). С. 53–59.
5. Баринаева Е. В. Ключевые задачи устойчивого развития мясной отрасли в Российской Федерации // Все о мясе. 2019. № 2. С. 10–15. DOI: 10.21323/2071-2499-2019-2-10-15.
6. Сорокин В. С. Развитие рынка продукции животноводства в системе обеспечения продовольственной безопасности России // Агроинженерия. 2020. № 2 (96). С. 40–45. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-40-45.
7. Байдова Н. В., Звягина А. В. Анализ современного состояния производства свинины в России // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 12. С. 94–97.
8. Смыслова О. Ю., Юрова П. Н., Иванова А. А. Особенности развития аграрного производства в России в современных условиях // Фундаментальные исследования. 2022. № 10-1. С. 96–104.
9. Golovin A., Derkach N., Zyukin D. Development of food exports to ensure economic security // Економічний часопис-XXI. 2020. Т. 186, №. 11–12. С. 75–85. DOI: 10.21003/ea.V186-09.
10. Соловьева Т. Н., Зюкин Д. А. Бедность населения как препятствие развития агропродовольственного производства в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 3 (381). С. 19–22. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-3-19-22.
11. Golovin A. A., Kalinicheva E. Yu., Reprintseva E. V., et al. Results of the Russian State policy in the field of increasing food availability // Revista de la Universidad del Zulia. 2022. Vol. 13, No. 36. Pp. 93–113. DOI: 10.46925//rdluz.36.07.
12. Трошин А. С., Санду И. С., Дубровина Т. А. Особенности развития АПК Белгородской области в условиях импортозамещения // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 11. С. 33–36. DOI: 10.32651/2211-33.
13. Семькин В. А., Пигорев И. Я., Зюкин Д. А. Зернопродуктовый подкомплекс и свиноводство как драйверы развития сельского хозяйства Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 6. С. 62–66. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-16108.
14. Zyukin D., Zhilyakov D., Bolokhontseva Y., Petrushina O. Export of russian grain: prospects and the role of the state in its development // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9, No. 28. Pp. 320–329. DOI: 10.34069/AI/2020.28.04.36.
15. Штоколова К. В., Федулов М. А. Успехи Курской области в росте экономики растениеводства // Экономические науки. 2020. № 193. С. 472–476. DOI: 10.14451/1.193.472.
16. Харченко Е. В., Петрова С. Н., Зюкин Д. А. Оценка динамики развития сельскохозяйственного производства в регионах России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 6 (384). С. 84–88. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-84-88.

Об авторах:

Александр Вячеславович Мусьял, кандидат экономических наук, ректор, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, Курск, Россия; ORCID 0000-0001-6183-148X, AuthorID 824365. E-mail: avmusyal@mail.ru

Дмитрий Иванович Жилияков, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и финансов, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, Курск, Россия; ORCID 0000-0003-4190-7015, AuthorID 547451. E-mail: zhilyakov@yandex.ru

Светлана Олеговна Виткалова, аспирант, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, Курск, Россия; ORCID 0009-0000-7129-7145, AuthorID 462501. E-mail: vitkalova.so@gmail.com

Ольга Вячеславовна Петрушина, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, Курск, Россия; ORCID 0000-0001-7550-8173, AuthorID 1178233. E-mail: petao@yandex.ru

References

1. Zhilyakov D. I., Plakhutina Yu. V., Zaretskaya V. G., Sokolov O. V., Soklakov A. A. Problems and prospects of development of the livestock industry in the region. *Vestnik Kurskoy Gosudarstvennoy Sel'skokhozyaystvennoy Akademii*. 2022; 1: 97–105. (In Russ.)
2. Shtokolova K. V., Fedulov M. A. Trends of crop growing development in Russia under the economic crisis on the background of the coronavirus pandemic. *Slavic Forum*. 2021; 3 (33): 305–316. (In Russ.)
3. Rasskazov A. N. Realization of the state agriculture program development and livestock progress's main directions. *Vestnik Vserossiyskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Mekhanizatsii Zhivotnovodstva*. 2019; 3 (35): 152–156. (In Russ.)
4. Litvinova E. V. Main challenges to Russian pig breeding. *Meat Technology*. 2020; 1 (205): 53–59. (In Russ.)
5. Barinova E. V. Key objectives of the sustainable development of the meat industry in Russia. *Vse o Myase*. 2019; 2: 10–15. DOI: 10.21323/2071-2499-2019-2-10-15. (In Russ.)
6. Sorokin V. S. Livestock product market development in Russian food security system. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2020; 2 (96): 40–45. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-40-45. (In Russ.)
7. Baydova N. V., Zvyagina A. V. Analysis of the current state of pork production in Russia. *Competitiveness in a Global World: Economics, Science, Technology*. 2022; 12: 94–97. (In Russ.)
8. Smyslova O. Yu., Yurova P. N., Ivanova A. A. Features of the development of agricultural production in Russia in modern conditions. *Fundamental Research*. 2022; 10-1: 96–104. (In Russ.)
9. Golovin A., Derkach N., Zyukin D. Development of food exports to ensure economic security. *Economic Annals-XXI*. 2020; 186 (11-12): 75–85. DOI: 10.21003/ea.V186-09.
10. Solov'yeva T. N., Zyukin D. A. Population poverty as an obstacle to the development of agri-food production in Russia. *International Agricultural Journal*. 2021; 3 (381): 19–22. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-3-19-22. (In Russ.)
11. Golovin A. A., Kalinicheva E. Yu., Reprintseva E. V., Nozdracheva E. N., Zyukin D. A. Results of the Russian State policy in the field of increasing food availability. *Revista de la Universidad del Zulia*. 2021; 13: 93–113. DOI: 10.46925/rdluz.36.07.
12. Troshin A. S., Sandu I. S., Dubrovina T. A. Features of the agro-industrial complex development of the Belgorod region in terms of import substitution. *Economics of Agriculture of Russia*. 2022; 11: 33–36. DOI: 10.32651/2211-33. (In Russ.)
13. Semykin V. A., Pigorev I. Ya., Zyukin D. A. Grain products subcomplex and pig breeding as drivers of agricultural development of Kursk region. *International Agricultural Journal*. 2019; 6: 62–66. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-16108. (In Russ.)
14. Zyukin D., Zhilyakov D., Bolokhontseva Y., Petrushina O. Export of Russian grain: prospects and the role of the state in its development. *Amazonia Investiga*. 2020; 9 (28): 320. DOI: 10.34069/AI/2020.28.04.36.
15. Shtokolova K. V., Fedulov M. A. Successes of the Kursk region in the growth of the crop economy. *Economic Sciences*. 2020; 193: 472–476. DOI: 10.14451/1.193.472. (In Russ.)
16. Kharchenko E. V., Petrova S. N., Zyukin D. A. Assessment of the dynamics of the development of agricultural production in the regions of Russia. *International Agricultural Journal*. 2021; 6 (384): 84–88. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-84-88. (In Russ.)

Authors' information:

Aleksandr V. Musyal, candidate of science of economy, rector, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0000-0001-6183-148X, AuthorID 824365. *E-mail*: avmusyal@mail.ru

Dmitriy I. Zhilyakov, doctor of science of economy, professor of the department of accounting and finance, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0000-0003-4190-7015, AuthorID 547451. *E-mail*: zhilyakov@yandex.ru

Svetlana O. Vitkalova, postgraduate, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0009-0000-7129-7145, AuthorID 462501. *E-mail*: vitkalova.so@gmail.com

Olga V. Petrushina, candidate of science of economy, associate professor of the department of economics and management, Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0000-0001-7550-8173, AuthorID 802843. *E-mail*: petao@yandex.ru

Стратегические параметры воспроизводства в агропродовольственном секторе региона

Д. Ю. Самыгин¹✉, М. А. Холодова², С. В. Келейникова³

¹ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

² Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия

³ Саранский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Саранск, Россия

✉ E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Аннотация. Проблема обеспечения устойчивого процесса воспроизводства ресурсов в сельском хозяйстве и формирования физической и экономической доступности продукции приобретает многоцелевой характер. Обосновано, что параметры воспроизводства имеют принципиальное значение для создания условий равновесия производства и потребления продукции на уровне рациональных норм питания. В качестве ключевого показателя, обобщающего в себе социально-экономическую нагрузку воспроизводства, использована рентабельность. **Цель** исследования – обосновать уровень рентабельности как ключевой параметр воспроизводства, обеспечивающий прирост производства продукции на душу населения до уровня рациональных норм потребления. Предмет исследования – физическая и экономическая доступность продукции. **Методы исследования.** Аналитические расчеты и эконометрическое моделирование (проведены по РФ), экспериментальные вычисления (выполнены по Пензенской области). **Результаты** показали, что по целому ряду номенклатурных групп продукции одновременно с ростом рентабельности увеличивается среднедушевой уровень производства и зачастую сдерживается рост среднедушевого уровня потребления. Повышение прибыльности аграрного бизнеса во многом получено за счет снижения покупательной способности доходов населения. Для планирования необходимых преобразований в процесс обеспечения сбалансированного формирования аспектов продовольственной безопасности построены модели описания уровня производства на душу населения. Оценка параметров эластичности полученных функционалов показала, что для стимулирования выпуска продукции наряду с увеличением спроса на душу населения целесообразно повышать окупаемость затрат. **Научная новизна.** Положения теории воспроизводства в сельском хозяйстве дополнены знаниями о количественных характеристиках триединого роста спроса, предложения и рентабельности, необходимого для обеспечения физической доступности в регионе при достижении экономической доступности продукции на уровне рациональных норм потребления с учетом территориального фактора. Научные разработки полезны участникам стратегического планирования АПК в качестве средств поддержки принятия решений в процессе целеполагания.

Ключевые слова: физическая доступность, экономическая доступность, рациональные нормы потребления, стратегические параметры, модели предложения продукции, устойчивое воспроизводство, уровень рентабельности, агропродовольственный сектор

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 23-28-10277, <https://rscf.ru/project/23-28-10277>) и Пензенской области.

Для цитирования: Самыгин Д. Ю., Холодова М. А., Келейникова С. В. Стратегические параметры воспроизводства в агропродовольственном секторе региона // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1371–1382. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1371-1382>.

Дата поступления статьи: 20.03.2024, **дата рецензирования:** 02.07.2024, **дата принятия:** 23.07.2024.

Strategic parameters of reproduction in the agri-food sector of the region

D. Yu. Samygin¹✉, M. A. Kholodova², S. V. Keleynikova³

¹ Penza State University, Penza, Russia

² Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet settlement, Rostov region, Russia

³ Saransk Cooperative Institute of autonomous non-profit educational organization of higher education of Central Union of the Russian Federation “Russian University of Cooperation”, Saransk, Russia

✉ E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Abstract. The problem of ensuring a sustainable process of reproduction of resources in agriculture and the formation of physical and economic accessibility of products becomes multi-purpose. It is substantiated that reproduction parameters are of fundamental importance for creating conditions for equilibrium in production and consumption of products at the level of rational nutritional standards. Profitability was used as a key indicator summarizing the socio-economic burden of reproduction. **The purpose** of the study is to substantiate the level of profitability that ensures an increase in production per capita to the level of rational consumption standards. Subject of research: physical and economic accessibility of products. **Research methods.** analytical calculations and econometric modeling (carried out by region), experimental calculations (carried out in the Penza region). **Results** showed that for a number of product groups, simultaneously with the growth of profitability, the average per capita level of production increases and, often, the growth of the average per capita level of consumption is restrained. The increase in the profitability of agricultural business is largely achieved by reducing the purchasing power of household income. To plan the necessary transformations in the process of ensuring a balanced formation of aspects of food security, models were built to describe the level of production per capita. An assessment of the elasticity parameters of the obtained functionals showed that in order to stimulate production, along with an increase in per capita demand, it is advisable to increase the cost recovery. **Scientific novelty.** The provisions of the theory of reproduction in agriculture are supplemented with knowledge about the quantitative characteristics of the triune growth of demand, supply and profitability necessary to ensure physical accessibility in the region while achieving economic accessibility of products at the level of rational consumption standards, taking into account the territorial factor. Scientific developments are useful to participants in strategic planning of the agro-industrial complex as a means of supporting decision-making in the goal-setting process.

Keywords: physical accessibility, economic accessibility, rational consumption standards, strategic parameters, product offering models, sustainable reproduction, level of profitability, agri-food sector

Acknowledgments. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (No. 23-28-10277, <https://rscf.ru/project/23-28-10277>) and the Penza region.

For citation: Samygin D. Yu., Kholodova M. A., Keleynikova S. V. Strategic parameters of reproduction in the agri-food sector of the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1371–1382. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1371-1382>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.03.2024, **date of review:** 02.07.2024, **date of acceptance:** 23.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Агропродовольственный сектор сегодня без преувеличения становится драйвером национальной экономики и основным гарантом продовольственной безопасности страны. Сельское хозяйство, как справедливо отмечают современные классики аграрной экономической науки [1], выпуская пищевые средства, создает самое первое условие существования всякого производства вообще, без которого любые аргументы теряют силу.

В этом контексте в последние годы происходит усиление стратегических приоритетов развития

аграрной сферы. В дополнении к самообеспеченности продукцией в Доктрине продовольственной безопасности от 2020 года достаточно правильно поставлен вопрос о достижении физической и экономической продукции с учетом рациональных норм потребления, рекомендуемых Минздравом РФ.

Эта проблема имеет комплексный многоцелевой характер. С одной стороны, объективным является мнение ученых, что наращивание физического объема продукции без одновременного увеличения внутреннего платежеспособного спроса до уровня норм здорового питания приведет к росту экспорт-

ных продаж [2]. С другой стороны, верным будет и утверждение о том, что без обеспечения «нужного» объема продукции на отечественном продовольственном рынке, невозможно достичь «желаемого» объема внутреннего потребления [3]. В этом плане физическая доступность является первичной категорией по отношению к экономической доступности продукции. Основной задачей стратегического развития сельского хозяйства становится наращивание объемов собственного производства за счет отечественных товаропроизводителей для обеспечения продовольственных потребностей населения во всех регионах в объеме, отвечающем рациональным нормам потребления по основным видам продукции, составляющим рацион здорового питания человека.

В современных реалиях формирование физического наличия пищевой продукции, сырья и продовольствия целесообразно осуществлять за счет отечественных товаропроизводителей, создавая при этом им условия для нормального процесса воспроизводства ресурсов. Сложившаяся сегодня ситуация на агропродовольственном рынке дает товаропроизводителям возможность (зачастую за счет роста цен) получать определенный прирост стоимости с каждого рубля, вложенного в производство. Достигнутая в итоге рентабельность по-разному влияет на обеспечение условий воспроизводства ресурсов аграрного бизнеса и покупательной способности доходов населения. От уровня воспроизводства зависит сформированность физической доступности, а от уровня покупательной способности – сформированность экономической доступности продукции.

Оценить сформированность физической и экономической доступности продукции возможно на основе показателей уровня производства и уровня потребления на душу населения. Динамика этих показателей в совокупности с динамикой уровня рентабельности продукции представлена в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что от уровня рентабельности зависит физическое наличие продукции. Причем увеличение рентабельности сопровождается ростом уровня физической доступности до рациональных норм и выше. Это характерно для всех номенклатурных групп продукции. Так, к примеру, по зерну, в 2022 г. к 2017 г. рост уровня рентабельности на 23 п. п. происходит одновременно с увеличением среднедушевого производства на 151 кг/чел, по овощам – на 1 п. п. и 9 кг/чел, по мясу – на 8 п. п. и 10 кг/чел, по молоку – на 36 п. п. и +19 кг/чел. Одновременно с ростом рентабельности не происходит увеличения уровня экономической доступности продукции. В 2022 году этот показатель даже снизился по отношению к 2019 и 2020 годам. По таким видам продукции, как картофель и овощи, рост рентабельности сопровождается снижением сформированности экономи-

ческой доступности. В итоге по тем видам продукции, где рентабельность ближе к «желаемому» для бизнеса уровню, сформированность физической доступности продукции ближе к рациональным нормам потребления. При сравнении динамики уровня рентабельности с уровнем производства на душу населения зачастую наблюдается либо обратное правило, либо сдерживание темпов повышения сформированности экономической доступности.

Сегодня обеспечение устойчивости воспроизводственного процесса в сельском хозяйстве входит в число основополагающих стратегических целей развития российской аграрной экономики [5]. В общем виде воспроизводство – это процесс восстановления производственных ресурсов, необходимых для устойчивого выпуска продукции. Для решения новых задач в сфере продовольственной безопасности необходимо обеспечить в аграрном секторе условия простого (расширенного) воспроизводства, с тем чтобы сохранить (увеличить) достигнутый уровень физического объема производства пищевой продукции. С учетом вышесказанного стратегическими считаются такие параметры воспроизводства ресурсов в аграрном секторе, которые наилучшим образом способствуют достижению физического наличия основных видов продукции и продовольствия, включенных в рацион здорового питания.

Как известно, рыночные источники финансирования (преимущественно ценовые) не позволяют аграрному бизнесу вести нормальный процесс воспроизводства ресурсов [6]. Проблема, как правило, обусловлена высокой демонополизацией в сельском хозяйстве и монополизацией в партнерских секторах (поставщики средств производства, переработчики продукции, оптовая торговля, хранение). Цены в монополизированной сфере растут быстрее, чем в высококонкурентной, что создает непреодолимый диспаритет цен [7]. В последнее время наблюдается резкое удорожание материально-производственных запасов, ярко выраженной стала тенденция колебания рентабельности как основного показателя, характеризующего уровень воспроизводства ресурсов и степень возврата вложенных в производство продукции средств и предметов труда. Сегодня острота проблемы такова, что комитет Госдумы по аграрным вопросам в конце 2023 года провел парламентские слушания и подготовил рекомендации по теме «Законодательное обеспечение повышения доходности и рентабельности сельскохозяйственного производства» [8]. По мнению депутатов, необходимо усилить меры госрегулирования воспроизводства сельского хозяйства, что вполне совпадает и с результатами исследований [9–14]. Ключевой вопрос в процессе стратегического планирования АПК касается обоснования «желаемых» параметров уровня воспроизводства через их увязку с физической доступностью продукции.

Таблица 1

Динамика уровней производства и потребления на душу населения и уровня рентабельности продукции

ЭКОНОМИКА

Продукция	Уровень	2017 г.	2019 г.	2021 г.	2022 г.	Отклонение 2022 г. от среднего за 2021–2017 г.
Зерно / хлебные продукты	производства, кг/чел	923	826	832	1074	222
	рентабельности, %	20	25	61	43	9
	потребления, кг/чел	117	116	114	113	-3
Картофель	производства, кг/чел	148	150	125	128	-14
	рентабельности, %	-11	7	27	37	29
	потребления, кг/чел	90	89	84	84	-4
Овощи	производства, кг/чел	105	109	106	115	9
	рентабельности, %	15	14	26	21	1
	потребления, кг/чел	104	108	103	104	-2
Мясо	производства, кг/чел	70	74	78	80	6
	рентабельности, %	6	16	15	13	2
	потребления, кг/чел	75	76	78	78	2
Молоко	производства, кг/чел	206	214	222	225	11
	рентабельности, %	-15	8	14	21	21
	потребления, кг/чел	230	234	241	241	6
Яйца	производства, шт/чел	305	306	308	314	8
	рентабельности, %	5	1	12	8	2
	потребления, шт/чел	282	285	281	288	5

Источник: составлено авторами по данным [4].

Table 1

Dynamics of production and consumption levels per capita and product profitability levels

Products	Level	2017	2019	2021	2022	Deviation of 2022 from the average for 2021.-2017.
Corn / bread products	production, kg/person	923	826	832	1074	222
	profitability, %	20	25	61	43	9
	consumption, kg/person	117	116	114	113	-3
Potato	production, kg/person	148	150	125	128	-14
	profitability, %	-11	7	27	37	29
	consumption, kg/person	90	89	84	84	-4
Vegetables	production, kg/person	105	109	106	115	9
	profitability, %	15	14	26	21	1
	consumption, kg/person	104	108	103	104	-2
Meat	production, kg/person	70	74	78	80	6
	profitability, %	6	16	15	13	2
	consumption, kg/person	75	76	78	78	2
Milk	production, kg/person	206	214	222	225	11
	profitability, %	-15	8	14	21	21
	consumption, kg/person	230	234	241	241	6
Eggs	production, pcs/person	305	306	308	314	8
	profitability, %	5	1	12	8	2
	consumption, pcs/person	282	285	281	288	5

Source: compiled by the authors based on data from [4].

Материалы и методы исследования (Methods)

Цель исследования – обосновать уровень рентабельности как ключевой параметр воспроизводства, обеспечивающий формирование физической доступности основных видов продукции до уровня рациональных норм потребления и выше.

Объектом исследования является агропродовольственный сектор. Предмет исследования – физическая (в части самообеспечения рациональных норм потребления) и экономическая доступность продукции и факторы, их определяющие. Аналитические и модельные расчеты проведены по РФ в целом, экспериментальные расчеты выполнены по Пензенской области.

Для целей настоящего исследования авторы используют следующие понятия:

– *физическая доступность* – объем продовольственных ресурсов в стране, покрывающий рациональные нормы потребления основных видов продукции для каждого гражданина страны;

– *самообеспеченность рациональных норм* – уровень сформированности физической доступности продукции за счет отечественного производства;

– *экономическая доступность* – объем внутреннего потребления, покрывающий рациональные нормы питания по основным видам продукции для каждого гражданина страны.

Исследование основано на положениях теории воспроизводства ресурсов в сельском хозяйстве. Одним из наиболее распространенных показателей, характеризующих уровень воспроизводства, как уже было сказано, считается рентабельность. Показатель свидетельствует о степени возврата вложенных в производство продукции средств и предметов труда. Известно, что платежеспособный спрос рождает предложение и, следовательно, является стимулом для наращивания производства. Бизнес, в свою очередь, способен обеспечить нужное увеличение физического объема продукции за счет самофинансирования, если уровень воспроизводства создает для этого необходимые возможности. Если нормальный процесс восстановления ресурсов не обеспечивается, то бизнесу неинтересно привлекать дополнительные вложения в производство. Если каждый вложенный рубль возвращается и приносит дополнительно 20 % прибыли при уровне инфляции 10 %, то бизнес способен расширять производство и увеличить объемы последующих вложений. При этом интерес собственников бизнеса заключается в получении доходности не ниже альтернативной рентабельности, например, ставки коммерческого банка по депозитам.

В этой связи обоснование параметров рентабельности можно свести к следующему алгоритму. Во-первых, сравнить рентабельность с индексом цен на материально-технические ресурсы. Для создания условий наращивания продукции первый показатель следует установить выше второго, что характеризует расширенный тип воспроизводства. Во-вторых, сравнить рентабельность со средневзвешенной ставкой по депозитам коммерческих банков. В интересах бизнеса – чтобы рентабельность не оказалась ниже данной ставки. В общей сложности по тем видам продукции, где физическая доступность сформировалась на уровне рациональных норм потребления и выше, рекомендуется использовать величину рентабельности для простого воспроизводства; по тем видам, где физическая доступность сформировалась ниже рациональных норм потребления, – величину рентабельности для расширенного воспроизводства ресурсов.

Окупаемость затрат и, разумеется, уровень воспроизводства ресурсов во многом зависят от территориального фактора [15]. В благоприятных природно-экономических условиях уровень воспроизводства будет выше, чем в менее благоприятных. В качестве аналитического выражения территориального фактора авторами используется показатель кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий. Учитывая вышесказанное, построены модели, описывающие уровень сформированности физической доступности отечественной продукции от спроса на нее, уровня окупаемости затрат, территориального фактора.

Наиболее распространенными для описания спроса и предложения являются модели производственного типа [16; 17]. Функциональные модели строятся по каждому виду продукции. На основе моделей можно вычислить уровень рентабельности, необходимый для обеспечения определенного среднедушевого уровня производства продукции в различных природно-экономических условиях и наличии спроса на продукцию на уровне рациональных норм потребления.

Для проведения исследований сформирована база данных [18], имеющая пространственную структуру в разрезе субъектов РФ (за период 2020–2022 гг.). В базе данных присутствует информация об основных, образующих рацион, видах продукции (зерновые и зернобобовые, картофель, овощи и бахчевые, семена подсолнечника, сахарная свекла, мясо скота и птицы, молоко, яйца).

В результате исследования определены многофакторные модели описания зависимости среднедушевого уровня производства от выбранных факторов и на их основе определены оптимальные значения рентабельности, при которых физическая и экономическая доступность по видам продукции формируется на «желаемом» уровне.

Результаты (Results)

Получены функциональные модели описания зависимости среднедушевого производства продукции от среднедушевого потребления продукции, окупаемости затрат и кадастровой стоимости 1 га сельхозугодий. Модели описывают от 75,7 % (по овощам) до 99,7 % (по яйцам) зависимой переменной от указанных факторов. Корректность полученных моделей и их параметров подтверждается критериями Фишера и Стьюдента. Р-значения названных критериев меньше 0,05. В данных уравнениях зависимости по картофелю, овощам, семенам подсолнечника и яйцам территориальный фактор является избыточной переменной (*p*-значения Фишера находятся в интервале от 0,29 до 0,78). По названным видам продукции были построены сокращенные модели (таблица 2).

Таблица 2

Модели описания среднедушевого производства продукции

Продукция	Модель	R ²	P-значение (F)
Зерновые и зернобобовые	$\Pi^{1,10} * P^{4,18} * T^{0,23}$	98,3	3,8e-138
Картофель	$\Pi^{1,11} * P^{1,67}$	99,3	2,7e-107
Овощи и бахчевые	$\Pi^{0,73} * P^{3,06}$	75,7	1,02e-09
Семена подсолнечника	$\Pi^{1,10} * P^{4,18} * T^{0,23}$	94,8	7,76e-06
Сахарная свекла	$\Pi^{0,30} * P^{2,52} * T^{0,88}$	96,8	1,27e-13
Мясо скота и птицы	$\Pi^{0,74} * P^{2,94} * T^{0,33}$	98,4	1,6e-139
Молоко	$\Pi^{0,83} * P^{1,43} * T^{0,07}$	99,5	2,6e-155
Яйца, шт/год	$\Pi^{0,92} * P^{1,12}$	99,7	2,48e-88

Примечание. Π – уровень потребления продукции на душу населения, кг/год; P – окупаемость затрат на производство продукции, руб/руб; T – территориальный фактор (кадастровая стоимость 1 га сельскохозяйственных земель), тыс. руб.

Источник: составлено авторами.

Экономика

Table 2

Models for describing per capita production

Products	Модель	R ²	P-value (F)
Cereals and legumes	$\Pi^{1,10} * P^{4,18} * T^{0,23}$	98,3	3,8e-138
Potato	$\Pi^{1,11} * P^{1,67}$	99,3	2,7e-107
Vegetables and melons	$\Pi^{0,73} * P^{3,06}$	75,7	1,02e-09
Sunflower seeds	$\Pi^{1,10} * P^{4,18} * T^{0,23}$	94,8	7,76e-06
Sugar beet	$\Pi^{0,30} * P^{2,52} * T^{0,88}$	96,8	1,27e-13
Livestock and poultry meat	$\Pi^{0,74} * P^{2,94} * T^{0,33}$	98,4	1,6e-139
Milk	$\Pi^{0,83} * P^{1,43} * T^{0,07}$	99,5	2,6e-155
Eggs, pcs/year	$\Pi^{0,92} * P^{1,12}$	99,7	2,48e-88

Note. C – level of product consumption per capita, kg/year; P – recoupment of production costs, rub/rub; T – territorial factor (cadastral value of 1 hectare of farmland), thousand rubles.

Source: compiled by the authors.

Товаропроизводители в субъектах РФ готовы обеспечить заданный объем производства продукции не ниже региональных квот при наличии платежеспособного спроса на продукцию на уровне рациональных норм потребления и параметрах воспроизводства ресурсов на определенном уровне рентабельности.

По всем видам продукции, составляющим рацион, наблюдается прямая зависимость предложения от спроса, окупаемости затрат, территориального фактора. При одновременном увеличении платежеспособного спроса и рентабельности будет происходить увеличение уровня физической доступности продукции за счет отечественных товаропроизводителей.

Эластичность среднедушевого уровня производства отечественной продукции от спроса почти по всем видам продукции (кроме зерна и картофеля) показывает, что производители не могут соразмерно отреагировать на потенциальный рост платежеспособного спроса. Его увеличение на 1 % спровоцирует рост производства по зерну на 1,10 %, по картофелю – на 1,11 %, по овощам – на 0,73 %, по подсолнечнику – на 0,81 %, по сахарной свекле – на 0,30 %, по мясу – на 0,74 %, по молоку – на 0,83 %, по яйцам – на 0,92 %. Получается, что по тем видам

продукции, где физическая доступность на рынке не достигла рациональных норм потребления, доформирование экономической доступности в случае роста покупательной способности доходов населения будет происходить уже за счет импорта. Эти выводы подтверждаются также результатами исследований ученых [19] о том, что увеличение платежеспособного спроса в большей степени ведет к росту импорта или цен на продовольствие и в меньшей – к росту производства.

Наиболее высокая эластичность среднедушевого уровня производства отечественной продукции наблюдается от уровня окупаемости затрат. При его увеличении на 1 % у производителей возникает сильная мотивация по увеличению выпуска по зерну на 4,18 %, картофелю – на 1,67 %, овощам – на 3,06 %, подсолнечнику – на 1,03 %, сахарной свекле – на 2,52 %, мясу – на 2,94 %, молоку – на 1,43 %, яйцам – на 1,12 %. Значения эластичности по всем товарным группам доказывают выдвинутую в статье гипотезу о ключевой роли фактора воспроизводства в обеспечении физического наличия продукции. Стабильное возобновление материально-технических ресурсов в сельскохозяйственном секторе придает устойчивости процессу формирования физической доступности на рынке продукции, сырья и продовольствия.

Индикативный уровень рентабельности в сельском хозяйстве Пензенской области для обеспечения физической доступности продукции

Продукция	Рентабельность, %			Отклонение средней рентабельности от оптимальной, п. п.
	Минимальная	В среднем за 2020–2022 г.	Оптимальная	
Зерно	15,0	48,1	67,8	19,7
Картофель	15,0	26,8	34,1	7,3
Овощи и бахчевые	15,0	25,0	37,2	12,2
Подсолнечник	15,0	44,1	48,5	4,4
Сахарная свекла	15,0	74,7	75,6	0,9
Молоко	15,0	16,3	54,3	38,0
Мясо скота и птицы	15,0	12,4	64,1	51,7
Яйца	15,0	8,9	56,0	47,1

Источник: составлено авторами.

Table 3

Indicative level of profitability in agriculture of the Penza region to ensure the physical availability of products

Products	Profitability, %			Deviation of average profitability from optimal, p. p.
	Minimum	On average for 2020–2022	Optimal	
Corn	15.0	48.1	67.8	19.7
Potato	15.0	26.8	34.1	7.3
Vegetables and melons	15.0	25.0	37.2	12.2
Sunflower	15.0	44.1	48.5	4.4
Sugar beet	15.0	74.7	75.6	0.9
Milk	15.0	16.3	54.3	38.0
Livestock and poultry meat	15.0	12.4	64.1	51.7
Eggs	15.0	8.9	56.0	47.1

Source: compiled by the authors.

На основе полученных моделей определены оптимальные значения показателя рентабельности, при которых наилучшим образом происходит достижение «нужных» параметров производства и «желаемого» уровня потребления по исследуемым видам продукции (таблица 3).

В качестве «желаемого» уровня потребления используются рациональные нормы, установленные приказом [20] Минздрава РФ, в качестве «нужных» параметров производства – региональные квоты на выпуск продукции [21], вычисленные с учетом рациональных норм и сравнительных конкурентных преимуществ субъектов РФ в развитии аграрного сектора.

Чтобы создать условия воспроизводства ресурсов и обеспечения физической доступности продукции, требуется стабилизировать и поддерживать рентабельность на уровне 15 % и выше. Динамика сложившегося за 2017–2022 гг. уровня рентабельности показывает здесь наличие определенных колебаний. Например, за исследуемый период вариация уровня рентабельности составила по зерну от +20 % до +61 %, по овощам – от +15 % до +28 %, по картофелю – от –11 % до +37 %, по мясу – от +6 % до +16 %, по яйцам – от +1 % до +12 %, по молоку от –20 % до 21 % и т. д.

Расчетным путем установлено, что оптимальным будет значение рентабельности производства от 34,1 % по картофелю до 75,6 % по сахарной свекле. Причем по всем видам продукции (кроме подсолнечника и сахарной свеклы) требуется значительный прирост уровня рентабельности от фактических до оптимальных значений. Так, к примеру, по мясу скота и птицы требуется обеспечить прирост почти на 52 п. п., по яйцам – более чем на 47 п. п., по молоку – на 28 п. п. и т. п.

Считаем, что полученные значения уровня рентабельности производства продукции вполне релевантны поставленным задачам в сфере стратегического развития сельского хозяйства. Это позволит реализовать планомерный устойчивый процесс воспроизводства мощностей на принципиальной иной инвестиционной основе, способствующей:

- 1) постепенному восстановлению материально-технических ресурсов, изъятых партнерами по АПК через диспаритет цен;
- 2) повышению уровня зарплаты работников аграрного производства;
- 3) осуществлению вложений в инновации, современные научные достижения и разработки, цифровые сервисы и технологии;

4) модернизации и технологическому перевооружению производства и т. п.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В научной литературе достаточно много экспертных мнений о параметрах рентабельности с учетом различных факторов, влияющих на уровень воспроизводства в сельском хозяйстве. Можно выделить три группы исследователей. Первая группа [22] считает, что, при определенных темпах инфляции оптимальный уровень находится в интервале 10–15 %. При этом с ориентацией на плановый период делается вывод о том, что для поддержания среднегодовых темпов наращивания продукции в размере 3,5 % требуется обеспечить рентабельность на уровне 52 %. Вторая группа ученых [23–25] утверждает, что порог на уровне 15 % является нижней границей, обеспечивающей только простое воспроизводство мощностей. По их мнению, для расширенного воспроизводства и увеличения выпуска продукции на 4–6 % в год требуется обеспечить порог рентабельности на уровне 30 %. Третья группа исследователей [26, 27] считает, что, учитывая специфику ведения аграрного бизнеса, показатель рентабельности должен быть не ниже 20–25 %. Для расширенного воспроизводства (на инновационной основе) требуется 40–140 % и выше.

По оценкам специалистов Минсельхоза РФ [28], для планирования индикативного уровня рентабельности бизнеса важно учитывать источники формирования имущества. При использовании собственных средств финансирования оптимальным для расширенного воспроизводства считается рентабельность на уровне 45 %, при использовании заемных средств – 33 %.

Считаем, что наиболее обоснованным является мнение коллектива ученых [29, 30] о том, что планируемый уровень рентабельности в определенной степени зависимости от производственной специализации. Минимальный порог 28 % (в растениеводстве), 17 % (в животноводстве). При этом оптимальный интервал показателя рентабельности составляет в условиях зерновой направленности от 39 % до 89 %, свекловичной направленности – от 52 % до 83 %, молочной направленности – от 42 % до 59 %, свиноводческой направленности – от 27 % до 51 %. В зависимости от выпускаемого вида продукции планируемая рентабельность может существенно различаться: 15 % (мясо свиней), 17 % (сахарная свекла), 21 % (молоко и мясо КРС), 42 % (подсолнечник), 60 % (зерно).

Таким образом, полученные в данном исследовании результаты не противоречат научным работкам в области стратегического планирования устойчивого развития АПК.

Результаты проведенного исследования показали, что решение новых задач в сфере устойчивого обеспечения физической доступности продукции на агропродовольственном рынке следует синхронизировать с созданием условий товаропроизводителям для нормального процесса воспроизводства ресурсов. На данном этапе отработки механизмов стратегирования в сельском хозяйстве вполне целесообразно обосновать параметры рентабельности, способствующие наилучшему достижению целей стратегического развития агропродовольственного сектора в регионах с различными природно-экономическими условиями и территориями хозяйствования.

Для научного обоснования параметров рентабельности построены модели, описывающие зависимость среднедушевого уровня производства продукции от среднедушевого уровня потребления, окупаемости затрат и территориального фактора. Параметры эластичности полученных уравнений логарифмической регрессии указывают на то, что товаропроизводители способны сбалансировать объемы производства с рациональными нормами потребления при наличии соответствующих экономических и финансовых стимулов. Планируемые показатели уровней рентабельности, физической и экономической доступности продукции, по сути, становятся целевыми индикаторами стратегии развития АПК, федеральной и региональных госпрограмм по сельскому хозяйству. Разработчикам этих документов важно определить социально-экономическую нагрузку показателя рентабельности, чтобы соблюсти интересы бизнеса и населения в процессе планирования источников финансирования рентабельности. Анализ показал, что повышение рентабельности по целому ряду продукции получено за счет снижения покупательной способности доходов населения без обеспечения при этом производителям нормального процесса воспроизводства ресурсов. И эта тенденция сохраняется, затрудняя процесс формирования физической и, особенно, экономической доступности продукции.

Научные разработки полезны органам управления и участникам стратегического планирования АПК в качестве инструментов сопровождения процесса целеполагания.

Библиографический список

1. Буздалов И. Н. Для устойчивого сельского развития нужна новая стратегия аграрной политики // Вестник Института экономики РАН. 2015. № 2. С. 7–20.
2. Borodin K. G. Forecasting Export-Oriented Markets of Agri-Food Products // Studies on Russian Economic Development. 2022. Vol. 33, No. 2. Pp. 218–225. DOI: 10.1134/S1075700722020022.

3. Самыгин Д. Ю., Барышников Н. Г. Концептуальные основы стратегического планирования развития агропродовольственного сектора: отраслевой и территориальный аспект // АПК: экономика, управление. 2024. № 1. С. 35–52.

4. Уровень рентабельности (убыточности) проданных товаров, продукции, работ, услуг с 2017 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58036> (дата обращения: 02.03.2024).

5. Бабаева З. Ш., Кадиев Р. К. Стратегические приоритеты и межуровневое взаимодействие субъектов воспроизводственного процесса в сельском хозяйстве // Вестник аграрной науки. 2021. № 5 (92). С. 86–91. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.5.86.

6. Самыгин Д. Ю. Стратегирование вызовов развития сельского хозяйства: продовольственный аспект // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 2. С. 13–20. DOI: 10.32651/212-13.

7. Migunov R. A., Syutkina A. A., Zaruk N. F. Global Challenges and Barriers to Sustainable Economic Growth in the Agribusiness Sector // WSEAS Transactions on Business and Economics. 2023. Vol. 20. Pp. 923–930. DOI: 10.37394/23207.2023.20.85.

8. Решение комитета Государственной думы Федерального собрания восьмого созыва № 80.6 от 13 декабря 2023 года «Законодательное обеспечение повышения доходности и рентабельности сельскохозяйственного производства» [Электронный ресурс]. URL: http://komitet-agro.duma.gov.ru/storage/b53533c5-43a4-44ee-99b8-ea105c1ce57a/documents/b24e7696-2541-4cb4-86bc-38abfeff00c6/DOC_20231229125443.pdf (дата обращения: 30.01.2024).

9. Milošev I. Determinations of Profitability in the Agricultural Sector in Serbia // Economics of Agriculture. 2023. No. 70 (4). Pp. 953–966. DOI: 10.59267/ekoPolj2304953M.

10. Kryszak Ł., Guth M., Czyżewski B. Determinants of farm profitability in the EU regions. Does farm size matter? // Agricultural Economics. 2021. No. 67 (3). Pp. 90–100. DOI: 10.17221/415/2020-AGRICECON.

11. Зверева Г. П. Государственная поддержка в контексте воспроизводства ресурсного потенциала аграрного сектора // Вестник сельского развития и социальной политики. 2021. № 1 (29). С. 9–11.

12. Золотарев А. А., Телегина О. В. Государственная поддержка расширенного воспроизводства в сельском хозяйстве // Научный альманах Центрального Черноземья. 2020. № 1. С. 56–58.

13. Кузнецов В. В., Холодова М. А. Модель модернизации концептуальных подходов государственного регулирования агропродовольственного рынка региона // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 122–134. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-122-134.

14. Nguyen T. N. L. Minority households' participation in farm economy development: evidence from the Central Highlands of Vietnam // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 01 (230). Pp. 87–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-230-01-87-98.

15. Самыгин Д. Ю., Иванов А. А., Губанова Е. В. Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6 (235). С. 111–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120.

16. Исмагилов И. И., Алсаиед Г. Классификация регрессионных моделей и метод построения линейных нечетких регрессий // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2023. № 2. С. 130–138. DOI: 10.47576/2949-1894_2023_2_130.

17. Мхитарян В. С., Попова Г. Л. Классификация регионов России по уровню развития сельского хозяйства в 2019–2021 годах // Вопросы статистики. 2023. Т. 30. № 4. С. 43–53. DOI: 10.34023/2313-6383-2023-30-4-43-53.

18. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622595 Российская Федерация. «Регионы РФ в 2020–2022 гг.: уровень и ключевые факторы формирования физической доступности агропродовольственной продукции»: № 2024622345; заявл. 07.06.2024; опублик. 14.06.2024 / Д. Ю. Самыгин, И. П. Ефимов, Д. А. Луночкин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет». URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67982187> (дата обращения: 18.03.2024).

19. Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. Scenario Forecasts for the Impact of Integration Processes on Food Markets of the Eurasian Economic Union // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30, No. 1. Pp. 102–110. DOI: 10.1134/s1075700719010131.

20. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=451458> (дата обращения: 06.03.2024).

21. Erokhin V., Samygin D., Tuskov A., Ivolve A. Mitigating Spatial Disproportions in Agriculture Through Revealing Competitive Advantages // Economics of Agriculture. 2023. No. 70 (4). Pp. 1157–1170. DOI: 10.59267/ekoPolj23041157E.

22. Kosolapova M. Systems and reproduction methodology as a basis of the relationship of economic research // *Advances in Research on Russian Business and Management*. 2019. Vol. 2019. Pp. 99–108.
23. Беспяхотный Г. В., Огаркова Н. Н. Обоснование развития продуктовых подкомплексов и кооперации // *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*. 2023. № 3. С. 12–20. DOI: 10.37984/2076-9288-2023-3-12-20.
24. Maslova V. V., Zaruk N. F., Fuchs K., Avdeev M. V. Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union // *Agriculture*. 2019. Vol. 9, No. 3. Article number 61. DOI: 10.3390/agriculture9030061.
25. Rodionova O. A., Evsyukova T. G., Pertsev A. A. Structural Shifts: Measurement Indicators and Their Impact on Sustainability of Agrarian Subjects // *Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age*. Switzerland: Springer International Publishing, 2021. Pp. 525–531. DOI: 10.1007/978-3-030-58823-6_59.
26. Glechikova N., Serioigin A., Nechaev V. Modeling the Development of the Economic Security System of Regions as the Basis of Stability // *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 282. Pp. 141–148. DOI: 10.1007/978-3-030-44703-8_16.
27. Балашов А. П., Шелковников С. А. Прибыль как основной источник развития сельскохозяйственных организаций // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2019. № 5. С. 36–40.
28. Временные методические рекомендации по организации мониторинга текущей рентабельности, индикативных цен и затрат на производство основных видов сельскохозяйственной продукции (утв. Минсельхозом РФ 26 декабря 2008 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/2175565> (дата обращения: 18.03.2024).
29. Kolesnikov A. V., Nasedkina T. I., Reshetnyak L. A., et al. The Need for Production Volumes of Main Agricultural Products as an Integral Part of the Russian Agrarian Policy // *Bioscience Biotechnology Research Communications*. Vol. 14, No. 4. Pp. 1931–1939.
30. Kolesnikov A. V., Myavlina N. Zh., Solovyev B. A. A focus on formation of financial resources of agricultural organizations, Russia // *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2019. Vol. 10, No. 10. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2019.123.

Об авторах:

Денис Юрьевич Самыгин, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и финансы», Пензенский государственный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 519460. E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Марина Александровна Холодова, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Аграрная экономика и нормативы», Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0001-9808-8263, AuthorID 517993. E-mail: kholodovama@rambler.ru

Светлана Викторовна Келейникова, кандидат экономических наук, декан факультета права и управления, Саранский Кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Саранск, Россия; ORCID 0000-0001-6971-582X, AuthorID 654792. E-mail: s.v.kelejnikova@ruc.su

References

1. Buzdalov I. N. A new strategy of the agrarian policy for sustainable rural development is necessary. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2015; 2: 7–20. (In Russ.)
2. Borodin K. G. Forecasting Export-Oriented Markets of Agri-Food Products. *Studies on Russian Economic Development*. 2022; 33 (2): 218–225. DOI: 10.1134/S1075700722020022.
3. Samygin D. Yu., Baryshnikov N. G. Conceptual foundations of strategic planning for the development of the agri-food sector: sectoral and territorial aspects. *AIC: Economics, Management*. 2024; 1: 35–52. (In Russ.)
4. Level of profitability (loss ratio) of goods, products, works, services sold since 2017 [cited 2024 Mar 02]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58036>. (In Russ.)
5. Babaeva Z. Sh., Kadiev R. K. Strategic priorities and inter-level cooperation of subjects of the reproduction process in agriculture. *Bulletin of Agrarian Science*. 2021; 5 (92): 86–91. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.5.86. (In Russ.)
6. Samygin D. Yu. Agricultural development challenges strategy: food aspect. *Economics of Agriculture of Russia*. 2021; 2: 13–20. DOI: 10.32651/212-13. (In Russ.)
7. Migunov R. A., Syutkina A. A., Zaruk N. F. Global Challenges and Barriers to Sustainable Economic Growth in the Agribusiness Sector. *WSEAS Transactions on Business and Economics*. 2023; 20: 923–930. DOI: 10.37394/23207.2023.20.85.
8. Decision of the State Duma Committee of the Federal Assembly of the eighth convocation No. 80.6 dated December 13, 2023 “Legislative support for increasing the profitability and profitability of agricultural production”

[cited 2024 Jan 30]. URL: http://komitet-agro.duma.gov.ru/storage/b53533c-43a4-44ee-99b8-ea105c1ce57a/documents/b24e7696-2541-4cb4-86bc-38abfeff00c6/DOC_20231229125443.pdf (access date 01.30.2024). (In Russ.).

9. Milošev I. Determinations of Profitability in the Agricultural Sector in Serbia. *Economics of Agriculture*. 2023; 70 (4): 953–966. DOI: <https://doi.org/10.59267/ekoPolj2304953M>.

10. Kryszak Ł., Guth M., Czyżewski B. Determinants of farm profitability in the EU regions. Does farm size matter?. *Agricultural Economics*. 2021; 67 (3): 90–100. DOI: 10.17221/415/2020-AGRICECON.

11. Zvereva G. P. State support in the context of reproduction of resource potential of the agrarian sector. *Bulletin of Rural Development and Social Policy*. 2021; 1 (29): 9–11. (In Russ.)

12. Zolotarev A. A., Telegina O. V. State support for expanded reproduction in agriculture. *Scientific almanac of the Central Black Earth Region*. 2020; 1: 56–58. (In Russ.)

13. Kuznetsov V. V., Kholodova M.A. The model of modernization of conceptual approaches of state regulation of the agro-food market of the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (12): 122–134. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-122-134. (In Russ.)

14. Nguyen T. N. L. Minority households' participation in farm economy development: evidence from the Central Highlands of Vietnam. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 01 (230): 87–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-230-01-87-98.

15. Samygin D. Yu., Ivanov A. A., Gubanov E. V. Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 6 (235): Pp. 11–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120. (In Russ.)

16. Ismagilov I. I., Alsayed G. Classification of regression models and a method for constructing linear fuzzy regressions. *Innovative Economics: information, Analytics and forecasts*. 2023; 2: 130–138. DOI: 10.47576/2949-1894_2023_2_130. (In Russ.)

17. Mkhitarjan V. S., Popova G. L. Classification of Russian regions by the level of agricultural development in 2019–2021. *Voprosy Statistiki*. 2023; 30(4): 43–53. DOI 10.34023/2313-6383-2023-30-4-43-53. (In Russ.)

18. Certificate of state registration of the database No. 2024622595 Russian Federation. “Regions of the Russian Federation in 2020–2022: level and key factors in the formation of physical availability of agricultural and food products”: No. 2024622345: declared. 07.06.2024: published. 14.06.2024 / D. Yu. Samygin, I. P. Efimov, D. A. Lunochkin; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Penza State University” [cited 2024 Mar 18]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67982187>. (In Russ.)

19. Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. Scenario Forecasts for the Impact of Integration Processes on Food Markets of the Eurasian Economic Union. *Studies on Russian Economic Development*. 2019; 30 (1): 102–110. DOI: 10.1134/s1075700719010131.

20. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated August 19, 2016 N 614 “On approval of recommendations on rational standards for the consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet” [cited 2024 Mar 06]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=451458>. (In Russ.)

21. Erokhin V., Samygin D., Tuskov A., Ivolve A. Mitigating Spatial Disproportions in Agriculture Through Revealing Competitive Advantages. *Economics of Agriculture*. 2023; 70 (4): 1157–1170. DOI: 10.59267/ekoPolj23041157E.

22. Kosolapova M. Systems and reproduction methodology as a basis of the relationship of economic research. *Advances in Research on Russian Business and Management*. 2019; 2019: 99–108.

23. Bepakhotny G. V., Ogarkova N. N. Rationale for the development of product subcomplexes and co-operation. *Fundamental and applied studies of the cooperative sector of the economy*. 2023; 3: 12–20. DOI: 10.37984/2076-9288-2023-3-12-20. (In Russ.)

24. Maslova V. V., Zaruk N. F., Fuchs K., Avdeev M. V. Competitiveness of Agricultural Products in the Eurasian Economic Union. *Agriculture*. 2019; 9 (7): 61. DOI: 10.3390/agriculture9030061.

25. Rodionova O. A., Evsyukova T. G., Pertsev A. A. Structural Shifts: Measurement Indicators and Their Impact on Sustainability of Agrarian Subjects / O. A. Rodionova. *Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age*. Switzerland: Springer International Publishing, 2021: 525–531. DOI: 10.1007/978-3-030-58823-6_59.

26. Glechikova N., Serigin A., Nechaev V. Modeling the Development of the Economic Security System of Regions as the Basis of Stability. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020; 282: 141–148. DOI: 10.1007/978-3-030-44703-8_16.

27. Balashov A. P., Shelkovnikov S. A. Profit as the basic source of agricultural organizations development. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2019; 5: 36–40. (In Russ.)

28. Temporary methodological recommendations for organizing monitoring of current profitability, indicative prices and costs for the production of main types of agricultural products (approved by the Ministry of Agriculture

of the Russian Federation on December 26, 2008) [cited 2024 Mar 18]. URL: <http://base.garant.ru/2175565>. (In Russ.)

29. Kolesnikov A. V., Nasedkina T. I., Reshetnyak L. A., et al. The Need for Production Volumes of Main Agricultural Products as an Integral Part of the Russian Agrarian Policy. *Bioscience Biotechnology Research Communications*. 2021; 14 (4): 1931–1939. DOI: 10.21786/bbrc/14.4.82.

30. Kolesnikov A. V., Myavlina N. Zh., Solovyov B. A. A focus on the formation of financial resources of agricultural organizations, Russia. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2019; 10 (10): 123. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2019.123.

Authors' information:

Denis Yu. Samygin, doctor of economic sciences, professor of the department of economics and finance, Penza State University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 519460. *E-mail: vekont82@pnzgu.ru*

Marina A. Kholodova, doctor of economic sciences, leading researcher of the department of agrarian economics and standards, Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet settlement, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0001-9808-8263, AuthorID 517993. *E-mail: kholodovama@rambler.ru*

Svetlana V. Keleynikova, candidate of economic sciences, dean of the faculty of law and management, Saransk Cooperative Institute of autonomous non-profit educational organization of higher education of Central Union of the Russian Federation “Russian University of Cooperation”, Saransk, Russia; ORCID 0000-0001-6971-582X, AuthorID 654792. *E-mail: s.v.keleynikova@ruc.su*

Устойчивость развития организаций сельского хозяйства в условиях жестких внешнеэкономических ограничений (санкций)

А. Н. Семин¹✉, О. А. Рушицкая², А. В. Курдюмов¹, А. С. Гусев²

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: aleks_ural_55@mail.ru

Аннотация. Проблема устойчивого функционирования организаций сельского хозяйства в условиях жестких внешнеэкономических ограничений (санкций) является актуальной, поскольку эти вопросы недостаточно исследованы. Решение этой научной проблемы связано с обеспечением продовольственной безопасности на фоне ограниченного доступа к современным технологиям и оборудованию, ограничений на экспорт и импорт сельскохозяйственной продукции, неопределенности на рынках. Цель исследования состоит в анализе показателей функционирования организаций сельского хозяйства в период до и после введения жестких внешнеэкономических ограничений (санкций). Научная новизна состоит в установлении динамики финансово-экономических показателей функционирования организаций сельского хозяйства в зависимости от их размера в период до и после введения жестких внешнеэкономических ограничений (санкций). Методами исследования послужили монографические изучения и анализ финансово-экономических показателей функционирования 50 организаций сельского хозяйства на основе их группировки по различным признакам. Результатами исследования явились установление динамики финансово-экономических показателей организаций отрасли. Среднегодовой объем выручки от реализации на одну организацию в период после введения санкций увеличился на 24,3 % в сравнении с периодом до введения санкций, валовая прибыль на 79,0 %, чистая прибыль – 98,9 %. Наибольший объем прироста показателей обеспечен за счет крупных субъектов хозяйствования, при этом в микроорганизациях наблюдается отрицательная динамика. После введения санкций рентабельность продаж в средних по численности персонала организациях увеличилась на 9,7, в крупных – 8,9, в малых – 0,6 процентного пункта. Наблюдается прирост прочих доходов (на 46,4 %) в период после санкций, включающих государственную поддержку, при этом наибольшая их доля получена в крупных организациях. Рекомендуется в условиях санкций увеличить поддержку малого предпринимательства в аграрном секторе экономики.

Ключевые слова: внешнеэкономические ограничения, санкции, сельское хозяйство, устойчивое развитие, сбор и анализ данных, финансовые показатели, экономические показатели, валовая прибыль, чистая прибыль, прочие доходы

Для цитирования: Семин А. Н., Рушицкая О. А., Курдюмов А. В., Гусев А. С. Устойчивость развития организаций сельского хозяйства в условиях жестких внешнеэкономических ограничений (санкций) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 08. С. 1383–1394. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1383-1394>.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-01678, <https://rscf.ru/project/24-28-01678>.

Дата поступления статьи: 22.07.2024, **дата рецензирования:** 29.07.2024, **дата принятия:** 12.08.2024.

Sustainability of the development of agricultural organizations under severe foreign economic restrictions (sanctions)

A. N. Semin^{1✉}, O. A. Rushchitskaya², A. V. Kurdyumov¹, A. S. Gusev²

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: aleks_ural_55@mail.ru

Abstract. The problem of sustainable functioning of agricultural organizations under conditions of strict foreign economic restrictions (sanctions) is relevant, since these issues have not been sufficiently studied. The solution to this scientific problem is related to ensuring food security against the backdrop of limited access to modern technologies and equipment, restrictions on the export and import of agricultural products, and uncertainty in markets. **The purpose** of the study is to analyze the performance indicators of agricultural organizations in the period before and after the introduction of strict foreign economic restrictions (sanctions). **The scientific novelty** lies in establishing the dynamics of financial and economic indicators of the functioning of agricultural organizations depending on their size in the period before and after the introduction of strict foreign economic restrictions (sanctions). **The research methods** were the analysis of financial and economic indicators of the functioning of 50 agricultural organizations based on their grouping according to various criteria. The **results** of the study were to establish the dynamics of financial and economic indicators of industry organizations. The average annual sales revenue per organization in the period after the imposition of sanctions increased by 24.3 % compared to the period before the imposition of sanctions, gross profit by 79.0 %, net profit by 98.9 %. The largest increase in indicators was achieved by large business entities, while negative dynamics were observed in micro organizations. After the introduction of sanctions, the profitability of sales in medium-sized organizations increased by 9.7 percentage points, in large ones – 8.9, in small ones – 0.6 percentage points. There is an increase in other income (by 46.4 %) in the period after sanctions, including government support, with the largest share received in large organizations. **The practical significance**, under the conditions of sanctions, to increase support for small businesses in the agricultural sector of the economy.

Keywords: foreign economic restrictions, sanctions, agriculture, sustainable development, data collection and analysis, financial indicators, economic indicators, gross profit, net profit, other income

For citation: Semin A. N., Rushchitskaya O. A., Kurdyumov A. V., Gusev A. S. Sustainability of the development of agricultural organizations under severe foreign economic restrictions (sanctions). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1383–1394. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1383-1394>. (In Russ.)

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-28-01678, <https://rscf.ru/project/24-28-01678>.

Date of paper submission: 22.07.2024, **date of review:** 29.07.2024, **date of acceptance:** 12.08.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В отношении РФ в последнее время вводятся внешнеэкономические ограничения, которые зачастую называются санкциями. Внешнеэкономические ограничения (санкции) – это меры, применяемые государствами или международными организациями для воздействия на поведение других государств, организаций или физических лиц. Следует отметить, что санкции могут быть различного характера и включать политические [1], экономические [2], военные и другие ограничительные меры. При этом они могут быть введены в одностороннем порядке (одним государством), а могут иметь многосторонний характер (введены несколькими

государствами и (или) международной организацией (ООН) [3]. В отношении нашего государства санкции вводили неоднократно, особенно активно после 2014 года. Однако с февраля 2022 года можно наблюдать их массовое принятие, что позволяет говорить о жестких внешнеэкономических ограничениях (санкциях).

Санкции направлены на различные аспекты социально-экономической жизни нашей страны (доступ к финансам системам [4], замораживание активов, продуктовое эмбарго, запрет на экспорт/импорт газа и нефти и пр.), в том числе на сельское хозяйство. Внешнеэкономические ограничения, нацеленные на сельское хозяйство, направлены

на ограничение экспорта и импорта сельскохозяйственной продукции [5], запрет на экспорт технологий и оборудования [6], замораживание активов организаций отрасли, ограничения на участие в совместных проектах и другое.

Вне всякого сомнения, жесткие внешнеэкономические ограничения (санкции) способны оказать влияние на устойчивое развитие сельского хозяйства [7; 8]. Так, ограниченный доступ к современным технологиям и оборудованию может замедлить прогресс в повышении продуктивности и эффективности сельского хозяйства [9; 10]. Ограниченный доступ к международным финансовым рынкам и инвестициям может снизить возможности для модернизации и развития сельского хозяйства. Ограничения на экспорт и импорт сельскохозяйственной продукции могут привести к нарушению цепочек поставок, дефициту определенных продуктов и росту цен на них [11]. Неопределенность на рынках из-за санкций может снизить мотивацию сельхозтоваропроизводителей и банковского сектора инвестировать в долгосрочные проекты, ориентированные на устойчивое развитие [12]. Исследование вопросов влияния внешнеэкономических ограни-

чений (санкций) на показатели развития сельского хозяйства и отдельных организаций отрасли представляется актуальной научной проблемой.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование имеет ряд последовательных этапов. На первом этапе были отобраны организации сельского хозяйства Свердловской области с учетом наибольшего разнообразия основных направлений деятельности по ОКВЭД. В качестве основного источника информации был использован портал List-org, инструментарий которого позволяет производить отбор организаций по различным признакам. При этом был использован метод случайной выборки. Отбор организаций проводился с учетом наличия устойчивых результатов хозяйственной деятельности за 2014–2023 годы. При этом был сформирован список из 50 организаций из 204 действующих в 2023 году [13].

На втором этапе отобранные субъекты хозяйствования были отсортированы по двум признакам на микро, малые, средние и крупные организации. Организации были отобраны методом случайной выборки. В качестве признаков были выбраны численность персонала и выручка от реализации (рис. 1).

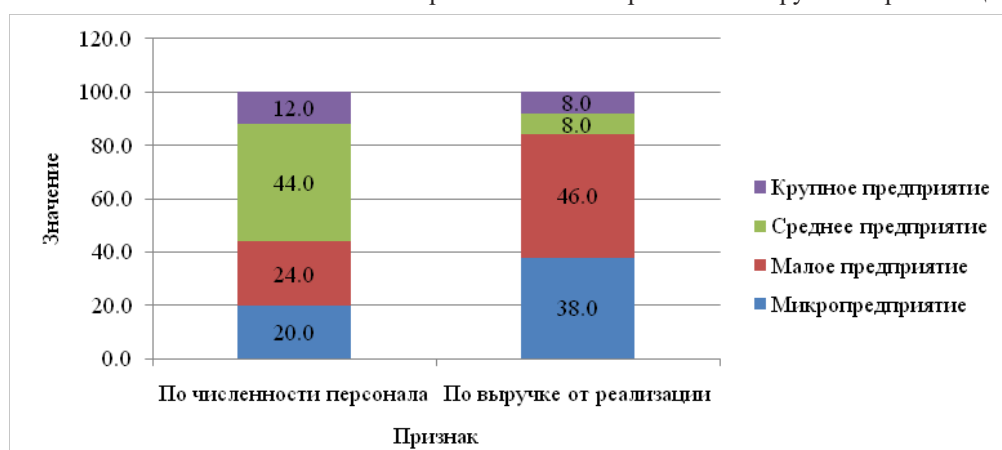


Рис. 1. Распределение отобранных для анализа организаций сельского хозяйства Свердловской области по численности персонала и выручке от реализации, %

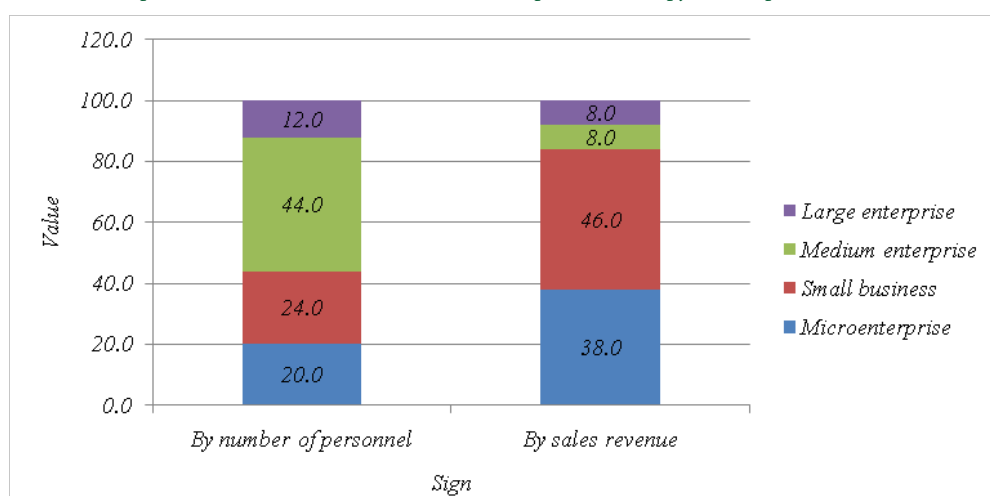


Fig. 1. Distribution of agricultural organizations selected for analysis in the Sverdlovsk region by number of personnel and sales revenue, %

Как видно по данным рисунка, среди отобранных для анализа организаций по численности персонала наибольшую долю занимают средние предприятия (44,0 %) с численностью работников от 101 до 250 человек, наименьшую долю (12,0 %) – крупные предприятия с численностью работников более 251 человека. По признаку «выручка от реализации» наибольшую долю (46,0 %) составляют малые с выручкой от 120 до 800 млн рублей и микропредприятия (38,0 %) с выручкой до 120 млн рублей.

На третьем этапе с использованием портала List-org были получены бухгалтерские данные по отобранным организациям. Наибольшее внимание при формировании массива бухгалтерских данных уделялось финансовым результатам деятельности организаций отрасли. В том числе были отобраны данные по показателям «выручка от реализации», «себестоимость продаж», «валовая прибыль», «чистая прибыль (убыток)» и другие. Гипотеза состоит в том, что организации сельского хозяйства,

Таблица 1
Среднегодовые показатели функционирования организаций сельского хозяйства с учетом их классификации по численности персонала в период до (2014–2021 годы) и после (2022–2023 годы) введения внешнеэкономических ограничений (санкций)*

Показатели	Организации по численности персонала				Всего
	Микро	Малые	Средние	Крупные	
Количество организаций в группе, шт.	10	12	22	6	50
Стоимость основных фондов, тыс. руб.					
до санкций	49 508	172 305	127 608	2 946 316	460 960
после введения санкций	36 569	215 966	173 924	3 540 533	560 536
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.					
до санкций	24 903	149 668	147 521	3 145 409	483 259
после введения санкций	19 145	186 650	198 944	3 869 746	600 530
Себестоимость продукции, тыс. руб.					
до санкций	20 462	116 938	139 745	2 705 943	418 358
после введения санкций	17 659	162 444	171 188	3 075 708	486 926
Валовая прибыль (убыток), тыс. руб.					
до санкций	2 707	18 382	7 525	458 655	63 303
после введения санкций	1 486	26 557	25 750	794 038	113 285
Чистая прибыль (убыток) с учетом субсидий, тыс. руб.					
до санкций	-1 589	19 936	14 573	194 722	34 246
после введения санкций	236	26 572	28 543	409 455	68 118
Выручка от реализации продукции на 1 работника, тыс. руб.					
до санкций	404,0	283,4	817,3	3 981,5	2 094,8
после введения санкций	221,7	409,2	1 102,2	4 898,4	2 603,1
Рентабельность продаж, %					
до санкций	13,2	15,7	5,4	16,9	15,1
после введения санкций	8,4	16,3	15,0	25,8	23,3
Рентабельность с учетом субсидий, %					
до санкций	-7,8	17,0	10,4	7,2	8,2
после введения санкций	1,3	16,4	16,7	13,3	14,0
Фондовооруженность, тыс. руб. на 1 работника					
до санкций	7 389,2	2 656,4	707,0	3 729,5	1 998,1
после введения санкций	5 458,0	3 327,7	963,6	4 481,7	2 429,7
Прочие доходы, тыс. руб.					
до санкций	4 568	36 213	21 056	186 874	41 294
после введения санкций	2 435	43 400	27 086	313 757	60 472

Примечание. * В среднем на одну организацию.

Источник: разработано авторами по: Сельское хозяйство в России. 2023: Стат. сб. Москва, 2023. 103 с.; Оперативные показатели сельского хозяйства за 2024 год [Электронный ресурс]. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/folder/185546/document/231035> (дата обращения: 10.07.2024).

Table 1

*Average annual performance indicators of agricultural organizations, taking into account their classification by number of personnel in the period before (2014–2021) and after (2022–2023) the introduction of foreign economic restrictions (sanctions)**

Indicators	Organizations by headcount				Total
	Micro	Small	Medium	Large	
Number of organizations in the group, pcs.	10	12	22	6	50
Cost of fixed assets, thousand rubles					
before sanctions	49 508	172 305	127 608	2 946 316	460 960
after the introduction of sanctions	36 569	215 966	173 924	3 540 533	560 536
Revenue from product sales, thousand rubles					
before sanctions	24 903	149 668	147 521	3 145 409	483 259
after the introduction of sanctions	19 145	186 650	198 944	3 869 746	600 530
Cost of production, thousand rubles					
before sanctions	20 462	116 938	139 745	2 705 943	418 358
after the introduction of sanctions	17 659	162 444	171 188	3 075 708	486 926
Gross profit (loss), thousand rubles					
before sanctions	2 707	18 382	7 525	458 655	63 303
after the introduction of sanctions	1 486	26 557	25 750	794 038	113 285
Net profit (loss) taking into account subsidies, thousand rubles					
before sanctions	–1 589	19 936	14 573	194 722	34 246
after the introduction of sanctions	236	26 572	28 543	409 455	68 118
Revenue from product sales per 1 employee, thousand rubles					
before sanctions	404.0	283.4	817.3	3 981.5	2 094.8
after the introduction of sanctions	221.7	409.2	1 102.2	4 898.4	2 603.1
Return on sales, %					
before sanctions	13.2	15.7	5.4	16.9	15.1
after the introduction of sanctions	8.4	16.3	15.0	25.8	23.3
Profitability taking into account subsidies, %					
before sanctions	–7.8	17.0	10.4	7.2	8.2
after the introduction of sanctions	1.3	16.4	16.7	13.3	14.0
Capital-labor ratio, thousand rubles per 1 employee					
before sanctions	7 389.2	2 656.4	707.0	3 729.5	1 998.1
after the introduction of sanctions	5 458.0	3 327.7	963.6	4 481.7	2 429.7
Other income, thousand rubles					
before sanctions	4 568	36 213	21 056	186 874	41 294
after the introduction of sanctions	2 435	43 400	27 086	313 757	60 472

Note. * On average per organization.

Source: developed by the authors based on: Agriculture in Russia. 2023: statistical collection. Moscow, 2023. 103 p.; Operational indicators of agriculture for 2024 [Electronic resource]. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/folder/185546/document/231035> (date of access: 10.07.2024).

функционирующие в условиях санкций, могут сохранить устойчивые темпы развития благодаря государственной поддержке, в том числе выделению субсидий. Другая гипотеза состоит в том, что субъекты хозяйствования могут испытывать трудности в обеспечении запасными частями, средствами защиты растений и животных, семенами и другими расходными материалами. Это может быть связано с тем, что довольно много поставщиков ушло с отечественного рынка в связи с введением санкций, в результате чего по ряду позиций может наблю-

даться рост цен. Подтверждением данной гипотезы является увеличение расходов по статье «запасы» в бухгалтерском балансе.

На заключительном этапе был выполнен анализ динамики показателей функционирования организаций сельского хозяйства с учетом их классификации по двум обозначенным признакам. При этом анализ был выполнен с учетом наличия двух периодов функционирования организаций. Первый период относится к времени до введения жестких внешнеэкономических ограничений (санкций) и состав-

ляет годы с 2014 по 2021 включительно. Вторым периодом включает анализ данных за период функционирования организаций после введения жестких внешнеэкономических ограничений (санкций) и составляет анализ данных за 2022–2023 годы. Основная задача состоит в сравнительном анализе ряда показателей функционирования организаций в период до и после санкций. Кроме того, по полученным данным рассчитан ряд показателей эффективности функционирования организаций отрасли, в том числе производительность труда (по выручке), фондообеспеченность, рентабельность и т. д.

Цель исследования – анализ показателей функционирования организаций сельского хозяйства в период до и после введения жестких внешнеэкономических ограничений (санкций).

Задачи исследования:

- сформировать группы организаций сельского хозяйства Свердловской области по численности персонала и выручке от реализации;
- выполнить анализ финансово-экономических показателей функционирования организаций сельского хозяйства;
- провести сравнение финансово-экономических показателей функционирования организаций сельского хозяйства в период до и после введения внешнеэкономических ограничений (санкций).

Результаты (Results)

Введение внешнеэкономических ограничений (санкций) может оказать существенное влияние на устойчивость функционирования организаций сельского хозяйства [14; 15]. Это может найти выражение в нарушении цепочек поставок в связи с ограничениями на границе, что вызовет трудности с экспортом сельскохозяйственной продукции и ввозом запчастей для импортной техники, семян, средств защиты растений и животных [16; 17]. В итоге последствия введения санкций могут привести к снижению финансово-экономических показателей функционирования организаций аграрного сектора экономики [18; 19]. Последствия введения санкций могут иметь отложенный эффект [20; 21], однако спустя два года можно подвести предварительные итоги их воздействия на организации отрасли (таблица 1).

Как видно по данным таблицы, во всех субъектах хозяйствования, за исключением микроорганизаций, наблюдается рост стоимости основных фондов. Он составил 21,6 %, что весьма существенно, и позволяет сделать вывод, что организации отрасли, несмотря на введение санкций, находят ресурсы для обновления материальной базы. Наибольший прирост стоимости основных фондов (36,3 %) наблюдается в средних по численности персонала организациях (101–250 человек). При этом фондообеспеченность по группе организаций выросла с 1998,1 до 2429,7 тыс. руб. на 1 работника.

Следует отметить благоприятную ценовую конъюнктуру, складывающуюся на ранке сельскохозяйственной продукции. Это позволило обеспечить рост выручки от реализации, за исключением микробизнеса (снижение на 23,1 %), в малых организациях на 24,7 %, в средних – на 34,9 %, в крупных – на 23,0 %. В целом среднегодовой прирост выручки в период после введения санкций (2022–2023 годы) составил 24,3 % в сравнении с до-санкционным периодом (2014–2021 гг.). При этом темпы прироста себестоимости за аналогичные периоды составили 16,4 % в целом по группе исследуемых организаций (наибольший прирост – 38,9 % в малых по численности персонала организациях). Это позволило обеспечить прирост валовой прибыли на 79,0 % по группе из 50 организаций, а чистая прибыль увеличилась на 98,9 %. Наиболее высокие показатели прироста чистой прибыли наблюдаются в крупных организациях, где она увеличилась практически в 2,1 раза. В средних по численности персонала субъектах хозяйствования прирост чистой прибыли составил 95,9 %, в малых организациях – 33,3 %. В группе из 6 микроорганизаций в до-санкционный период в среднем за год получен чистый убыток в размере 1,6 млн рублей, а в период после введения санкций даже в этих субъектах чистая прибыль составила 236 тыс. рублей на одну организацию.

Эффективность функционирования организаций с учетом их группировки по численности персонала существенно повысилась в период после введения санкций. Так, рентабельность продаж в целом по группе организаций увеличилась с 15,1 % до 23,3 %, или на 8,1 процентного пункта. Наибольший прирост рентабельности наблюдается в группе из 22 средних организаций, где он увеличился на 9,7 процентного пункта. Наименьший прирост зафиксирован в группе из 6 микроорганизаций, где рентабельность продаж снизилась на 4,8 процентного пункта. С учетом всех доходов и расходов рентабельность по всем организациям в постсанкционный период увеличилась до 14,0 % (на 5,8 процентного пункта по сравнению с до-санкционным периодом), что может быть связано с высокими управленческими расходами, особенно в крупных организациях. Следует отметить рост производительности труда в исследуемых организациях в период после введения санкций. Так, выручка от реализации на одного работника увеличилась в 24,3 % по группе из 50 исследуемых организаций. Наибольший прирост производительности труда наблюдается в малых по численности работников организациях (44,4 % по выручке), в средних он составляет 34,9 %, в крупных – 23,0 %. В микроорганизациях аграрной направленности было получено снижение производительности труда (45,1 %).

Значительный интерес представляют данные о прочих доходах организаций сельского хозяйства, в состав которых входит государственная поддержка (субсидии). Так, наибольший прирост прочих доходов наблюдается в крупных по численности персонала организациях. Среднегодовые прочие доходы в период с 2014 по 2021 годы в крупных субъектах хозяйствования составили 186 874 тыс. рублей на одну организацию в группе, а в период с 2022 по

2023 годы они увеличились до 313 757 тыс. рублей, или почти в 1,7 раза. В средних по численности персонала организациях отрасли аналогичные показатели выросли на 28,6 %, в малых – на 19,8 %, в микро – снизились на 47,7 %. В среднем по группе исследуемых организаций прочие доходы, куда в том числе входят получаемые субъектами хозяйствования субсидии, увеличились на 46,4 % (главным образом за счет их роста в крупных организациях).

Таблица 2
Среднегодовые показатели функционирования организаций сельского хозяйства с учетом их классификации по выручке от реализации продукции в период до (2014–2021 годы) и после (2022–2023 годы) введения внешнеэкономических ограничений (санкций)*

Показатели	Организации по выручке от реализации				Всего по выборке
	Микро	Малые	Средние	Крупные	
Количество организаций в группе, шт.	19	23	4	4	50
Стоимость основных фондов, тыс. руб.					
до санкций	70 237	218 881	1 339 975	2 829 836	460 960
после введения санкций	59 658	281 649	1 441 874	5 762 001	552 384
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.					
до санкций	47 416	228 662	819 112	3 681 594	483 259
после введения санкций	45 128	282 258	972 109	6 040 741	588 290
Себестоимость продукции, тыс. руб.					
до санкций	42 443	204 180	718 910	3 134 927	418 358
после введения санкций	43 600	245 248	799 951	5 229 480	480 443
Валовая прибыль (убыток), тыс. руб.					
до санкций	4 326	16 769	127 651	546 667	63 303
после введения санкций	3 013	35 091	172 157	791 286	109 725
Чистая прибыль (убыток) с учетом субсидий, тыс. руб.					
до санкций	2 479	28 091	43 943	210 827	34 246
после введения санкций	1 340	41 383	80 649	428 070	65 182
Выручка от реализации продукции на 1 работника, тыс. руб.					
до санкций	108,3	95,0	1 553,6	3 197,9	2 095,1
после введения санкций	75,4	198,8	1 843,7	5 247,1	2 550,5
Рентабельность продаж, %					
до санкций	10,2	8,2	17,8	17,4	15,1
после введения санкций	6,9	14,3	21,5	15,1	22,8
Рентабельность с учетом субсидий, %					
до санкций	5,8	13,8	6,1	6,7	8,2
после введения санкций	3,1	16,9	10,1	8,2	13,6
Фондовооруженность, тыс. руб. на 1 работника					
до санкций	1 758,2	1 240,0	2 541,4	2 458,1	1 998,4
после введения санкций	1 493,4	1 595,5	2 734,7	5 005,0	2 394,8
Прочие доходы, тыс. руб.					
до санкций	11 578	38 826	60 050	177 879	41 294
после введения санкций	11 339	46 505	69 638	516 176	60 472

Примечание. * В среднем на одну организацию.

Источник: разработано авторами по: Сельское хозяйство в России. 2023: Стат. сб. Москва, 2023. 103 с.; Оперативные показатели сельского хозяйства за 2024 год [Электронный ресурс]. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/folder/185546/document/231035> (дата обращения: 10.07.2024).

Table 2
Average annual performance indicators of agricultural organizations, taking into account their classification by revenue from sales of products in the period before (2014–2021) and after (2022–2023) the introduction of foreign economic restrictions (sanctions)*

Indicators	Organizations by headcount				Total
	Micro	Small	Medium	Large	
Number of organizations in the group, pcs.	19	23	4	4	50
Cost of fixed assets, thousand rubles					
before sanctions	70 237	218 881	1 339 975	2 829 836	460 960
after the introduction of sanctions	59 658	281 649	1 441 874	5 762 001	552 384
Revenue from product sales, thousand rubles					
before sanctions	47 416	228 662	819 112	3 681 594	483 259
after the introduction of sanctions	45 128	282 258	972 109	6 040 741	588 290
Cost of production, thousand rubles					
before sanctions	42 443	204 180	718 910	3 134 927	418 358
after the introduction of sanctions	43 600	245 248	799 951	5 229 480	480 443
Gross profit (loss), thousand rubles					
before sanctions	4 326	16 769	127 651	546 667	63 303
after the introduction of sanctions	3 013	35 091	172 157	791 286	109 725
Net profit (loss) taking into account subsidies, thousand rubles					
before sanctions	2 479	28 091	43 943	210 827	34 246
after the introduction of sanctions	1 340	41 383	80 649	428 070	65 182
Revenue from product sales per 1 employee, thousand rubles					
before sanctions	108.3	95.0	1 553.6	3 197.9	2 095.1
after the introduction of sanctions	75.4	198.8	1 843.7	5 247.1	2 550.5
Return on sales, %					
before sanctions	10.2	8.2	17.8	17.4	15.1
after the introduction of sanctions	6.9	14.3	21.5	15.1	22.8
Profitability taking into account subsidies, %					
before sanctions	5.8	13.8	6.1	6.7	8.2
after the introduction of sanctions	3.1	16.9	10.1	8.2	13.6
Capital-labor ratio, thousand rubles. per 1 employee					
before sanctions	1 758.2	1 240.0	2 541.4	2 458.1	1 998.4
after the introduction of sanctions	1 493.4	1 595.5	2 734.7	5 005.0	2 394.8
Other income, thousand rubles					
before sanctions	11 578	38 826	60 050	177 879	41 294
after the introduction of sanctions	11 339	46 505	69 638	516 176	60 472

Note. * On average per organization.

Source: developed by the authors based on: Agriculture in Russia. 2023: statistical collection. Moscow, 2023. 103 p.; Operational indicators of agriculture for 2024 [Electronic resource]. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/folder/185546/document/231035> (date of access: 10.07.2024).

Представляется целесообразным выполнить группировку отобранных организаций сельского хозяйства по выручке от реализации продукции и проанализировать эффективность производства в них в период до и после введения внешнеэкономических ограничений (таблица 2).

Как видно по данным таблицы, из отобранных организаций сельского хозяйства к микробизнесу

можно отнести 19 субъектов (с выручкой до 120 млн рублей), к малому бизнесу – 23 организации (с выручкой до 800 млн рублей), к среднему бизнесу – 4 организации (с выручкой до 2 млрд рублей), к крупному бизнесу – 4 организации (с выручкой свыше 2 млрд рублей). При этом организации отрасли наращивают материально-техническую базу, работая в условиях внешнеэкономических ограничений.

Стоимость основных фондов увеличилась по всем группам, за исключением микроорганизаций. Наибольший прирост наблюдается в группе крупных по выручке организаций (103,8 %, или более чем в 2 раза). В целом среднегодовая стоимость основных фондов по всем категориям хозяйств увеличилась на 19,8 % в период после введения санкций. При этом фондообеспеченность увеличилась с 1998,4 в период до введения санкций до 2394,8 тыс. руб. на 1 работника после их принятия, или на 19,8 %.

Величина запасов существенно выросла в период после введения внешнеэкономических ограничений. Наибольший прирост (более чем в 2,5 раза – на 153,4 %) наблюдается в группе крупных по выручке организациях отрасли. При этом в микроорганизациях среднегодовые запасы сократились на 18,7 % в период после введения санкций. Это может быть связано с тем, что цены на комплектующие для техники, семена и другие ресурсы существенно выросли и стали менее доступными в ценовом отношении для микро организаций. По всей совокупности анализируемых организаций прирост запасов в среднем за год составил 19,5 %. Это может быть связано с перебоями в поставках и необходимостью субъектами хозяйствования создавать их резервы.

Наблюдается сокращение среднегодовой выручки от реализации продукции в группе микроорганизаций (4,8 %) в период после введения санкций. При этом в других группах анализ показывает ее существенное увеличение. Так, наибольший прирост среднегодовой выручки зафиксирован в крупных организациях (64,1 %), значительный прирост наблюдается в малых и средних по размеру субъектах хозяйствования (23,4 % и 18,7 % соответственно). По всем анализируемым организациям среднегодовая выручка на одну организацию составила 483,3 млн рублей в период до введения санкций и 588,3 млн рублей (на 21,7 % больше) в период после введения санкций. Следует отметить, что себестоимость продаж за те же периоды увеличилась на 18,8 %. Это вызвало увеличение среднегодовой валовой прибыли с 63 303 до 109 725 тыс. рублей, или на 73,3 % на одну организацию. Чистая прибыль, в том числе с учетом господдержки, увеличилась с 34 246 до 65 182 тыс. рублей, или на 90,3 % на одну организацию. Следует отметить, что наибольший прирост среднегодовой чистой прибыли в период после введения санкций наблюдается в крупных и средних по выручке организациях сельского хозяйства (на 103 % и 83,5 % соответственно). Это может быть связано с более широкими возможностями крупных организаций получать господдержку.

Следует отметить, что эффективность функционирования организаций сельского хозяйства с учетом их группировки по выручке от реализации повысилась в период после введения санкций. Так,

рентабельность продаж в постсанкционный период увеличилась с 15,1 % до 24,2 %, или на 9,1 процентного пункта. Рентабельность с учетом субсидий в период до санкций составляла 8,5 % в год на одну организацию, однако после введения санкций она увеличилась до 14,8 % (на 6,3 процентного пункта). При этом наибольший прирост рентабельности наблюдается в группе средних по выручке организаций (11,0 процентного пункта). Производительность труда в расчете по выручке от реализации возросла с 1972,3 в период до принятия санкций до 2586,0 тыс. руб. (на 31,1 %) на 1 работника в период после их введения. Наибольший прирост производительности труда по отношению к выбранным временным периодам наблюдается в малых по выручке организациях (53,1 %).

Наибольший рост по статье «прочие доходы», по которой в том числе отражаются субсидии, наблюдается в крупных по выручке организациях сельского хозяйства. Так, в среднем за год в период с 2014 по 2021 годы прочие доходы составили 177 879 тыс. рублей на одну организацию, а в период с 2022 по 2023 годы они возросли до 516 176, или в 2,9 раза. Аналогичное увеличение в средних по выручке организациях составили 16,0 %, в малых – 19,38 %. При этом в микроорганизациях с выручкой до 120 млн рублей произошло снижение прочих доходов на 2,1 %. Всего по группе исследуемых организаций прочие доходы увеличились на 46,4 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Введенные жесткие внешнеэкономические ограничения в отношении РФ могут оказать существенное влияние на устойчивое развитие сельского хозяйства. Многие эксперты прогнозировали значительное снижение темпов социально-экономического развития отечественной экономики в целом и отдельных ее отраслей. Вопреки ожиданиям, финансово-экономические показатели развития субъектов хозяйствования демонстрируют положительную динамику. Валовая прибыль организаций сельского хозяйства Свердловской области выросла на 73,3 %, чистая прибыль увеличилась на 90,3 %, производительность труда (по выручке) – на 21,7 %. При этом основной прирост получен за счет крупных организаций, в которых валовая прибыль увеличилась на 88,0 %, чистая прибыль – на 49,7 %, производительность труда – на 27,6 %. К основным факторам, способствующим сохранению устойчивого развития сельского хозяйства, можно отнести благоприятную ценовую конъюнктуру и увеличение государственной поддержки, в том числе субсидий. Это подтверждается ростом выручки от реализации и показателей по статье «прочие доходы» исследуемых организаций.

Библиографический список

1. Шлюндт Н. Ю., Емузова Э. А. Финансовые санкции как инструмент международного влияния: тенденции развития и пути повышения политической эффективности // Современная наука и инновации. 2019. № 4 (28). С. 232–239.
2. Айткеева Л. М. Экономические санкции, как главный инструмент внешней политики в условиях международного политического кризиса // Новости Кыргызского экономического университета имени Рыскулбекова. 2023. № 2 (59). С. 37–39.
3. Иванов О. Б., Бухвальд Е. М. Санкции и контрмеры в российской экономике (региональный аспект) // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2022. № 4. С. 7–27.
4. Vaganova O. V. Russia and sanctions // Research Result. Economic Research. 2022. Vol. 8. No. 1. Pp. 4–11.
5. Семин А. Н., Килимник Е. В., Ковалев В. Е., Лылов А. С. Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы ценообразования и санкции запада // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 12. С. 10–16.
6. Зорков В. С., Иовлев Г. А. Зарубежные экономические санкции и модернизация аграрного производства России // Агропродовольственная политика России. 2015. № 12 (48). С. 13–17.
7. Бургучев В. В., Зеленченкова К. А. Влияние санкций Евросоюза на развитие агропромышленного комплекса России // Аллея науки. 2018. Т. 2. № 5 (21). С. 77–81.
8. Mironova A. V., Kuberova A. R., Steshina I. A. Anti-Russian sanctions: impact on the Russian economy // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. 2023. № 1. С. 448–450.
9. Гурнович Т. Г., Куклин И. С., Романика Н. А. Материально-техническое обеспечение сельскохозяйственных организаций в условиях антироссийских санкций // Вестник Академии знаний. 2022. № 53 (6). С. 80–83.
10. Себекина Т. И., Кондратенкова Ю. С. Влияние санкций запада на сельское хозяйство регионов России // Международный академический вестник. 2014. № 6 (6). С. 63–65.
11. Ашинова М. К., Доргушаова А. К., Чиназирова С. К., Паладова Т. А. Влияние санкций на рынок агропродовольственной продукции // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. 2017. № 2 (200). С. 55–60.
12. Ашикарьян А. А., Якимиди А. П., Полякова И. И., Нестеренко М. А. Развитие и перспективы сельского хозяйства в условиях санкций // Финансовая экономика. 2022. № 6. С. 92–93.
13. Итоги АПК Свердловской области [Электронный ресурс]. URL: <https://mcxso.midural.ru/article/show/id/105> (дата обращения: 14.07.2024).
14. Ibragimov A. G., Romanyuk M. A., Borulko V. G., Suharnikova M. A. Food Security of Russia in the Context of International Economic Sanctions // Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations. 2024. No. 3. Pp. 3–12. DOI: 10.1007/978-3-031-51272-8_28.
15. Джанчарова Г. К., Мухаметзянов Р. Р., Чекмарева Н. В., Платоновский Н. Г., Джанчаров Т. М., Тарасенко В. Н., Снегирев Д. В. Обеспечение продовольственной безопасности государства и развитие экспортного потенциала аграрного сектора России // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7, № 6. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_6_387.
16. Niftiyev I. Third-country economic consequences of Western sanctions on Russia: a thematic analysis of expert opinions in Azerbaijan // SocioEconomic Challenge. 2023. Vol. 7, No. 3. Pp. 113–140. DOI: 10.61093/sec.7(3).113-140.2023.
17. Bapat N. A., Kwon B. R. When are sanctions effective? A bargaining and enforcement framework // International Organization, 2015. Vol. 69, No. 1. Pp. 131–162.
18. Bergeijk P. The impact of economic sanctions in the 1990s // The World Economy, 1995. Vol. 18, No. 3. Pp. 443–455.
19. Veebel V. Russia's neo-imperial dependence model: Experiences of former Soviet republics // Romanian Journal of Political Science. 2017. Vol. 17, No. 1. Pp. 4–34.
20. Зозуля А. В., Зозуля П. В., Мезина Т. В., Малышкин Н. Г. Обоснование разработки мер по нейтрализации санкционного давления и дальнейшему развитию экономики России // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. DOI: 10.15862/45ECVN223.
21. Rodionova I., Bolohonov M., Vasil'eva O., Toropova V. Assessment and directions of increasing the investment attractiveness of agriculture // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. Vol. 24, No. 03. Pp. 430–439. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-430-439.

Об авторах:

Александр Николаевич Семин, доктор экономических наук, профессор кафедры конкурентного права и антимонопольного регулирования, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8270-2257, AuthorID 624268. *E-mail: aleks_ural_55@mail.ru*

Ольга Александровна Рущицкая, доктор экономических наук, профессор, 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*

Александр Васильевич Курдюмов, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой конкурентного права и антимонопольного регулирования, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2523-7595, AuthorID 594945. *E-mail: kurdyumov@usue.ru*

Алексей Сергеевич Гусев, кандидат биологических наук, доцент кафедры землеустройства, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-7606-4022, AuthorID 668445. *E-mail: a_anser@mail.ru*

References

1. Shlyundt N. Yu., Emuzova E. A. Financial sanctions as an instrument of international influence: development trends and ways to improve political efficiency. *Modern Science and Innovation*. 2019; 4 (28): 232–239. (In Russ.)
2. Aitikeeva L. M. Economic sanctions as the main instrument of foreign policy in the context of the international political crisis. *News of the Ryskulbekov Kyrgyz University of Economics*. 2023; 2 (59): 37–39. (In Russ.)
3. Ivanov O. B., Bukhvald E. M. Sanctions and countermeasures in the Russian economy (regional aspect). *ETAPE: Economic Theory, Analysis, Practice*. 2022; 4: 7–27. (In Russ.)
4. Vaganova O. V. Russia and sanctions. *Research Result. Economic Research*. 2022; 8. 1: 4–11.
5. Semin A. N., Kilimnik E. V., Kovalev V. E., Lylov A. S. The Russian fisheries complex: pricing problems and Western sanctions. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2022; 12: 10–16. (In Russ.)
6. Zorkov V. S., Iovlev G. A. Foreign economic sanctions and modernization of agricultural production in Russia. *Agro-Food Policy of Russia*. 2015; 12 (48): 13–17. (In Russ.)
7. Burguchev V. V., Zelenchenkova K. A. The impact of EU sanctions on the development of the agro-industrial complex of Russia. *Alley of Science*. 2018; 2. 5 (21): 77–81. (In Russ.)
8. Mironova A. V., Kuberova A. R., Steshina I. A. Anti-Russian sanctions: impact on the Russian economy. *Bulletin of the Tula branch of the Financial University*. 2023; 1: 448–450.
9. Gurnovich T. G., Kuklin I. S., Romanika N. A. Material and technical support of agricultural organizations in the context of anti-Russian sanctions. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2022; 53 (6): 80–83. (In Russ.)
10. Sebekina T. I., Kondratenkova Yu. S. The impact of Western sanctions on agriculture in Russian regions. *International Academic Bulletin*. 2014; 6 (6): 63–65. (In Russ.)
11. Ashinova M.K., Dorgushaova A.K., Chinazirova S.K., Paladova T.A. The Impact of Sanctions on the Agro-Food Market. *Bulletin of Adyghe State University. Series: Economy*. 2017; 2 (200). 55–60. (In Russ.)
12. Ashikaryan A. A., Yakimidi A. P., Polyakova I. I., Nesterenko M. A. Development and Prospects of Agriculture under Sanctions. *Financial Economics*. 2022; 6: 92–93. (In Russ.)
13. Results of the AIC of the Sverdlovsk Region [Electronic resource] [cited 2024 Jul 14]. URL: <https://mcxso.midural.ru/article/show/id/105>. (In Russ.)
14. Ibragimov A. G., Romanyuk M. A., Borulko V. G., Suharnikova M.A. Food Security of Russia in the Context of International Economic Sanctions. *Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations*. 2024; 3: 3–12. DOI: 10.1007/978-3-031-51272-8_28.
15. Dzhancharova G. K., Mukhametzyanov R. R., Chekmareva N. V., Platonovsky N. G., Dzhancharov T. M., Tarasenko V. N., Snegirev D. V. Ensuring food security of the state and developing the export potential of the agricultural sector of Russia. *Moscow Economic Journal*. 2022; 7 (6). DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_6_387. (In Russ.)
16. Niftiyev I. Third-country economic consequences of Western sanctions on Russia: a thematic analysis of expert opinions in Azerbaijan. *SocioEconomic Challenge*. 2023; 7, 3: 113–140. DOI: 10.61093/sec.7(3).113-140.2023.
17. Bapat N. A., Kwon B. R. When are sanctions effective? A bargaining and enforcement framework. *International Organization*, 2015; 9, 1: 131–162.
18. Bergeijk P. The impact of economic sanctions in the 1990s. *The World Economy*, 1995; 18, 3: 443–455.
19. Veebel V. Russia's neo-imperial dependence model: Experiences of former Soviet republics. *Romanian Journal of Political Science*. 2017; 17, 1: 4–34.

20. Zozulya A. V., Zozulya P. V., Mezina T. V., Malyshkin N. G. Justification for the development of measures to neutralize sanctions pressure and further develop the Russian economy. *Bulletin of Eurasian Science*. 2023; 15 (2): DOI: 10.15862/45ECVN223. (In Russ.)

21. Rodionova I., Bolohonov M., Vasil'eva O., Toropova V. Assessment and directions of increasing the investment attractiveness of agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 430–439. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-430-439.

About the authors

Aleksandr N. Semin, doctor of economic sciences, professor of the department of competition law and antimonopoly regulation, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8270-2257, AuthorID 624268. *E-mail: alexs_ural_55@mail.ru*

Olga A. Rushchitskaya, doctor of economic sciences, professor, 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*

Aleksandr V. Kurdyumov, candidate of economic sciences, associate professor, head of the department of competition law and antimonopoly regulation, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2523-7595, AuthorID 594945. *E-mail: kurdyumov@usue.ru*

Aleksey S. Gusev, candidate of biological sciences, associate professor of the department of land management, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-7606-4022, AuthorID 668445. *E-mail: a_anser@mail.ru*

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

В. С. Кухарь – кандидат экономических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

V. S. Kukhar – candidate of economic sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 10.10.2024 г. Усл. печ. л. 16,5. Авт. л. 12,9.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ
(ВАК)**

При Министерстве образования и науки



**Food and Agriculture Organization
of the United Nations**



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

