



Уральский государственный  
аграрный университет

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

# АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN  
OF THE URALS**

**T. 25, № 03  
Vol. 25, No. 03**

**2025**

**Сведения о редакционной коллегии**

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

**Члены редакционной коллегии**

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

**Editorial board**

**Irina M. Donnik** (Editor-in-Chief), academician of the Russian Academy of Sciences, Assistant to the President of the National Research Center “Kurchatov Institute” (Moscow, Russia)  
**Olga G. Lorets** (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Péter 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. Pashtetstkiy**, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)  
**Yuriy V. Plugatar**, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, member of the Presidential Council for Science and Education, Head of the Department of the Russian Academy of Sciences for Cooperation with Scientific Organizations of Crimea and Sevastopol, The Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Yalta, Russia)  
**Maksim B. Rebezov**, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)  
**Olga A. Rushchitskaya**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Aleksandr G. Samodelkin**, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (Nizhny Novgorod, Russia)  
**Anatoliy A. Stekolnikov**, academician of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)  
**Vladimir G. Tyurin**, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)  
**Ivan G. Ushachev**, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)  
**Sergey V. Shabunin**, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology

## Содержание

*Агротехнологии*

- И. А. Бандурко, З. Ш. Дагужиева, М. И. Шаповалов* 350  
Выделение видов груши и генотипов с их участием для использования в селекции
- Р. С. Жылкыбаев, Т. Ю. Жигула, А. Л. Шпигель, И. В. Потоцкая* 360  
Формирование урожайности и качества зерна твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана
- Л. П. Икоева* 371  
Реакция фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую обработку биопрепаратами
- А. М. Ленточкин, А. В. Никитина, Т. Г. Леконцева* 381  
Анализ состояния производства плодово-ягодной продукции
- А. И. Магомедов, С. А. Курбанов, Д. С. Магомедова* 392  
Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сортов озимой мягкой пшеницы на орошаемых землях равнинного Дагестана

*Биология и биотехнологии*

- С. Ф. Абдурашитов, Ф. С. Белялова, А. В. Ивашов, Э. Р. Абдурашитова, А. И. Алексеева* 402  
Влияние ассоциаций *Funneliformis mosseae* на растения огурца обыкновенного в модельных условиях
- Н. В. Бурачевский, С. Г. Майзель, И. М. Донник* 412  
Влияние сезонной динамики компонентов молока высокопродуктивных коров голштинской породы на эффективность процесса диафильтрации
- А. А. Зеленченкова, О. Н. Сивкина, С. Ю. Зайцев* 422  
Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме
- О. В. Зинина, О. П. Неверова, Я. Ли, Ф. Чжан, М. Б. Ребезов* 434  
Исследование влияния белковой композиции на качественные показатели хлеба
- Г. В. Ильина, Д. Ю. Илын, А. А. Гришина, А. Р. Дашкина* 449  
Влияние микробной конверсии отходов птицеводства на содержание соединений азота и показатели интегральной токсичности компостируемого материала
- И. Ю. Лебедева, О. С. Митяшова, Е. К. Монтвила, О. В. Алейникова, А. А. Сmealова* 459  
Влияние трийодтиронина *in vitro* на экспрессию регуляторов апоптоза семейства Bcl-2 в клетках гранулозы кур-несушек разного возраста и репродуктивного статуса
- М. Р. Цагареишвили, И. И. Калюжный* 473  
Исследование параметров мочи с помощью экспресс-методов в рамках скрининговой диагностики патологий органов пищеварения у крупного рогатого скота

*Экономика*

- А. А. Астра, А. Т. Стадник* 484  
Концепция развития народных предприятий в АПК
- Г. В. Астратова, О. А. Рушчичская, Ч. Н. Онвусирибе, А. М. Измайлов* 496  
Развитие сотрудничества и координации действий между университетами и предприятиями малого и среднего бизнеса в АПК России, Беларуси и Нигерии
- М. В. Киварина, Н. Н. Юрина* 515  
Цифровизация регионального АПК: проблемы и перспективы

## Contents

*Agrotechnologies*

- I. A. Bandurko, Z. Sh. Daguzhieva, M. I. Shapovalov* 350  
Isolation of pear species and genotypes with their participation in breeding
- R. S. Zhylykbaev, T. Yu. Zhigula, A. L. Shpigel, I. V. Pototskaya* 360  
Formation of yield and grain quality of durum wheat under conditions of Northern Kazakhstan
- L. P. Ikoeva* 371  
Response of photosynthetic pigments and yield of different potato varieties to foliar treatment with biopreparations
- A. M. Lentochkin, A. V. Nikitina, T. G. Lekontseva* 381  
Analysis of production status fruit and berry products
- A. I. Magomedov, S. A. Kurbanov, D. S. Magomedova* 392  
Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of winter soft wheat varieties on irrigated lands of plain Dagestan

*Biology and biotechnologies*

- S. F. Abdurashitov, F. S. Belyalova, A. V. Ivashov, E. R. Abdurashitova, A. I. Alekseeva* 402  
Effect of *Funneliformis mosseae* associations on *Cucumis sativus* L. plants under model conditions
- N. V. Burachevskiy, S. G. Mayzel, I. M. Donnik* 412  
The influence of seasonal dynamics of milk components of highly productive Holstein cows on the efficiency of the diafiltration process
- A. A. Zelenchenkova, O. N. Sivkina, S. Yu. Zaytsev* 422  
Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs
- O. V. Zinina, O. P. Neverova, Y. Li, F. Zhang, M. B. Rebezov* 434  
Research the effect of protein composition on qualitative indicators of bread
- G. V. Ilyina, D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina* 449  
Effect of microbial conversion of poultry waste on the content of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of composted material
- I. Yu. Lebedeva, O. S. Mityashova, E. K. Montvila, O. V. Aleynikova, A. A. Smekalova* 459  
The effect of triiodothyronine *in vitro* on the expression of apoptosis regulators of the Bcl-2 family in granulosa cells of laying hens of different ages and reproductive statuses
- M. R. Tsagareishvili, I. I. Kalyuzhnyy* 473  
Examination of urine parameters using express methods in the framework of screening diagnostics of digestive pathologies in cattle

*Economy*

- A. A. Astra, A. T. Stadnik* 484  
Concept for the development of people's enterprises in the agro-industrial complex
- G. V. Astratova, O. A. Rushchitskaya, Ch. N. Onwusiribe, A. M. Izmaylov* 496  
Development of cooperation and coordination between universities and small and medium-sized businesses in the agro-industrial complex of Russia, Belarus and Nigeria
- M. V. Kivarina, N. N. Yurina* 515  
Digitalization of the regional agro-industrial complex: problems and prospects



## Выделение видов груши и генотипов с их участием для использования в селекции

И. А. Бандурко<sup>1</sup>, З. Ш. Дагужиева<sup>1✉</sup>, М. И. Шаповалов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

<sup>2</sup> Адыгейский государственный университет, Институт живых систем и инженерии здоровья, Майкоп, Россия

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

**Аннотация.** Целью работы является обобщение результатов изучения видов, гибридных форм и сортов коллекции груши *Pyrus* L. Майкопской опытной станции – филиала ВИР для выделения генотипов, сочетающих высокую адаптивность с комплексом других хозяйственно ценных признаков, перспективных для селекции в южной зоне плодоводства. **Методы.** Исследование проводили в коллекционных насаждениях 2005 года посадки, используя методику первичного сортоизучения. Ежегодно определяли в баллах общее состояние дерева, проводили оценку сортов по устойчивости к грибным болезням (парша *Venturia pirina* Aderh., бурая пятнистость *Entomosporium maculatum* Lev., белая пятнистость *Septoria piricola* Desm.); в годы с критическими температурными условиями оценивали общую степень подмерзания деревьев и почек, устойчивость к жаре и засухе. Проводили изучение особенностей роста и плодоношения, качества плодов. **Научная новизна.** В условиях Северного Кавказа впервые проведены сравнительная оценка и анализ данных изучения межвидовых гибридов и сортов груши, производных от восточных и западных видов, с учетом их генетического происхождения. **Результаты.** Выделены генотипы с комплексом хозяйственно ценных признаков для использования в селекции. Сорта Деканка Новая (*Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai, F1), Селекта (*Pyrus bretschneideri* Rehd., F2), Августовская Роса, Августовская Караяна, Десертная Россошанская, Мраморная, Россошанская Ранняя, Тихий Дон (*Pyrus ussuriensis* Maxim., F2 и F3), Талгарская Красавица, Махсулдар, Яй Гюрен (местные генотипы Средней Азии и Кавказа, F1) сочетают высокую зимостойкость, засухоустойчивость и устойчивость к грибным болезням с высокой продуктивностью и хорошим качеством плодов. Выделены межвидовые гибриды и представители западных видов *Pyrus salicifolia* Pall. и *Pyrus elaeagnifolia* Pall., обладающие высокой адаптивностью и ограниченным размером дерева, перспективные для селекции подвоев.

**Ключевые слова:** груша, виды, сорта, коллекционное сортоизучение, селекция, отдаленная гибридизация, генофонд, исходный материал

**Благодарности.** Материалы печатаются в рамках мероприятия, проводимого при финансовой поддержке Майкопского государственного технологического университета, регистрационный номер научного проекта НП 8-2024.

**Для цитирования:** Бандурко И. А., Дагужиева З. Ш., Шаповалов М. И. Выделение видов груши и генотипов с их участием для использования в селекции // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 350–359. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-350-359>.

**Дата поступления статьи:** 25.09.2024, **дата рецензирования:** 18.11.2024, **дата принятия:** 27.01.2025.



## Isolation of pear species and genotypes with their participation in breeding

I. A. Bandurko<sup>1</sup>, Z. Sh. Daguzhieva<sup>1✉</sup>, M. I. Shapovalov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maikop State Technological University, Maikop, Russia

<sup>2</sup> Adyghe State University, Institute of Living Systems and Health Engineering, Maikop, Russia

✉ E-mail: zaradaguzhiy@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the research is to summarize the results of studying the species, hybrid forms and varieties of the pear collection of Maikop Experiment station—a branch of VIR in order to isolate genotypes combining high adaptability with a complex of other economically valuable traits promising for breeding in the southern fruit growing zone. **Methods.** The study was conducted in the collection plantings of the year of 2005, using the primary variety study method. Every year the general condition of the tree was determined in points, the varieties were assessed for resistance to fungal diseases (scab, brown and white spot). In years with critical temperature conditions, the general degree of freezing of trees and buds, resistance to heat and drought were assessed. The characteristics of growth and fruiting, and fruit quality were studied. **Scientific novelty.** In the conditions of the North Caucasus, a comparative assessment and analysis of data from a study of interspecific hybrids and pear varieties derived from eastern and western species was carried out, taking into account their genetic origin. **Results.** Genotypes with a complex of economically valuable traits for use in breeding have been selected. The varieties of Dekanka Novaya (*Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai, F1), Selekt (Pyrus bretschnideri Rehd., F2), Avgustovskaya Rosa, Avgustovskaya Karanyana, Desernaya Rossoshanskaya, Mramornaya, Rossoshanskaya Rannyaya, Tikhiy Don (*Pyrus ussuriensis* Maxim., F2 and F3), Talgarskaya Krasavitsa, Makhsuldar, Yay Gyuren (local genotypes of Central Asia and the Caucasus, F<sub>1</sub>) combine high winter hardiness, drought resistance and resistance to fungal diseases with high productivity and good quality of fruits. Interspecific hybrids and representatives of the western species *Pyrus salicifolia* Pall. and *Pyrus elaeagnifolia* Pall. have been selected, possessing high adaptability and limited tree size, promising for rootstock breeding.

**Keywords:** pear, species, varieties, collection variety study, selection, distant hybridization, gene pool, source material

**Acknowledgments.** The materials are published as part of an event held with the financial support of Maikop State Technological University, scientific project registration number NP 8-2024.

**For citation:** Bandurko I. A., Daguzhieva Z. Sh., Shapovalov M. I. Isolation of pear species and genotypes with their participation in breeding. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 3035; 25 (04): 350–359. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-350-359>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 25.09.2024, **date of review:** 18.11.2024, **date of acceptance:** 27.01.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Достижения в селекции груши на юге России позволили создать сорта, обладающие многими ценными признаками. Тем не менее вызовы современной жизни диктуют новые требования. Проведенный нами анализ описаний сортов, включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону [1], показывает, что все они достигли высокого селекционного уровня, который необходимо сохранить при выведении новых сортов.

Ряд направлений в селекции груши в России остается постоянным [2; 3], однако изменяющиеся условия внешней среды, потребительские предпочтения, разнообразные технологии возделывания, экономические показатели оказывают на них определенное влияние [4; 5].

Цели селекции, которые особенно важны для производителей, включают продолжительность сезона сбора урожая, самоплодность, урожайность и особенности роста. Качество и внешний вид плодов важны для всех программ селекции [6; 7].

Все больший приоритет в селекции груши приобретают направления, связанные с генетически обусловленной устойчивостью сортов к погодноклиматическим факторам региона возделывания и соответствие требованиям современных технологий [4].

Выявленные тенденции изменения климата [4] делают актуальными направления создания сортов, обладающих устойчивостью к критическим температурам и другим повреждающим факторам зимнего и летнего периода.

Нестабильный температурный режим весеннего периода, в результате которого происходят значительные потери урожая, вызывает необходимость селекции на морозостойкость цветков, самоплодность, позднее начало цветения, формирование партенокарпных плодов [8].

Выведению сортов, устойчивых к вредителям и болезням, способствуют потребительские предпочтения употребления плодов, выращенных без применения пестицидов и по технологиям, безопасным для окружающей среды [6]. Этому же способствует появление новых, более вредоносных болезней, вирусных и фитоплазменных инфекций, вредителей плодовых растений, в том числе груши, к которому приводит изменение климата, использование новых технологий, в том числе активное применение в садах пестицидов [9–12].

87 % НИУ России проводит селекцию на высокую резистентность сортов груши к различного рода инфекциям; 40 % НИУ ведет селекцию на устойчивость к вредоносной энтомофауне [2].

В Европе и Северной Америке уделяется особое внимание созданию сортов, устойчивых к бактериальному ожогу *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al. и медянице *Psylla pyri* L. из-за разрушительных последствий, которые они могут оказывать на урожай, сложности борьбы с ними и дороговизны для производителей [6; 12]. Устойчивость к парше груши *Venturia pirina* Aderh., которая поражает европейскую грушу, и *Venturia nashicola* Tanaka & Yamamoto, которая поражает азиатскую грушу, также важна во всем мире [13].

Еще одним направлением является селекция подвоев. Груша по-прежнему отстает от яблони по наличию широкого ассортимента подвоев, контролирующего рост, которые легко размножать и которые имеют высокую совместимость с привоем. С этим, возможно, связано отсутствие устойчивости к такому опасному явлению, как увядание груши (*Candidatus Phytoplasma pyri* (pear decline)). Работы в этом направлении ведутся [6; 10].

Внедрение новых сортов груши необходимо для оживления потребительского рынка, однако этот процесс идет медленно, что может быть связано с длительным периодом выведения и поступления нового сорта на рынок, и также может отражать отсутствие реальной новизны в новых сортах. Селекционеры груш должны иметь долгосрочный взгляд на то, что требуется потребителям и производителям [6].

В настоящее время селекционеры используют комбинацию традиционных методов и аспектов биотехнологии, включая геномную инженерию [14], изучение и редактирование генома груши [15; 16], разработку молекулярных маркеров, для увеличения скорости выведения новых сортов [6; 7; 12]. Проводят селекцию на полиплоидном уровне [17].

Тем не менее тщательный подбор исходного материала сохраняет первостепенное значение. Решение селекционных задач подчас требует более широкого вовлечения в гибридизацию видового разнообразия рода *Pyrus* L. Могут быть использованы не только виды, но и отдаленные и внутривидовые гибриды различных поколений [8], а также сорта, выведенные селекционерами других регионов [18].

Совокупный потенциал видов груши является источником генов, контролирующих резистентность к наиболее опасным болезням и вредителям, устойчивость к различным абиотическим факторам [19].

Видовое разнообразие рода *Pyrus* L. (кроме *P. ussuriensis* Maxim.) используется в селекции редко, что подтверждает анализ родословных 234 сортов груши, прошедших госиспытание в России. Набор сортов, использованных для гибридизации, был также довольно ограничен [20].

Наша оценка родословных 36 новых сортов груши, районированных и проходящих сортоиспытание в Северо-Кавказском регионе [1], показала, что это положение сохраняется. Основным методом селекции по-прежнему является межсортовая гибридизация лучших по качеству генотипов. В качестве родительских форм использованы преимущественно классические десертные сорта западноевропейской группы сортоотбора, чаще всего Бере Боск (у 10 сортов), Деканка Зимняя (9), Вильямс, Любимица Клаппа (по 5), Бере Арданпон, Лесная Красавица (по 4). Сорта других сортоотборов в родословных районированных южных сортов встречаются редко. Только у сортов Изюминка Крыма и Мрия в происхождении указан местный сорт Армуд.

В селекционных программах для северных и центральных регионов России широко используется вид *P. ussuriensis* как донор морозоустойчивости, устойчивости к болезням и вредителям [5; 21]. Селекционерами южной зоны этот вид, как и другие, практически не используется.

В мировой селекции наиболее широко используются виды груши *P. pyrifolia* (Burm.f.) Nakai и *P. bretschneideri* Rehd. В Новой Зеландии ключевой момент программ – это скрещивания европейских и азиатских видов [6; 7].

Источниками ценных генов являются и некоторые другие виды. Устойчивость к микоплазменной болезни отмечена у представителей вида *Pyrus callieriana* Decne [8], скороплодность у некоторых сеянцев *Pyrus salicifolia* Pall. [21].

Использование видов в селекции – это длительный многоступенчатый процесс, для ускорения которого необходимо проводить пребридинг и создавать промежуточные формы с целью дальнейшего их использования в селекции.

## Межвидовые гибриды и виды груши, перспективные для селекции, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 2005–2023 годы

Образец, генетическое происхождение	Поражение грибными болезнями, макс. балл	Высота 10-летних деревьев	Год начала плодоношения	Урожайность	Дегустационная оценка плодов
<b>Селекция на иммунитет</b>					
Восточная Золотистая ( <i>P. pyrifolia</i> × Гнокко)	1	3,1	4	В	4,2
Деканка Новая (Деканка Зимняя × <i>P. pyrifolia</i> )	0	2,3	2	В	4,0
Душистая ( <i>P. aromatica</i> × Триумф Пакгама + Бере Ляде)	1	2,6	3	В	3,9
Лучистая (Мартине × ( <i>P. bretschneideri</i> × Фелпс))	1	2,5	3	В	4,1
Селекта (Мартине × ( <i>P. bretschneideri</i> × Фелпс))	1	2,3	3	В	4,3
Соковка (Деканка Зимняя × <i>P. pyrifolia</i> ), свободное опыление	1	2,5	3	В	4,0
<b>Селекция подвоев</b>					
<i>P. regelii</i> Rehd. × <i>P. pyrifolia</i>	1	2,2	3	В	3,9
Комплексная ( <i>P. betulifolia</i> × <i>P. caucasica</i> ) × Бере Ляде + Триумф Пакгама	2	2,3	3	В	Несъедобная
<i>P. salicifolia</i> № 69-66	3	2,4	3	С	Несъедобная
<i>P. elaeagnifolia</i> Pall. № 3	3	2,4	3	С	Несъедобная
<i>P. elaeagnifolia</i> № 6	3	2,4	3	С	Несъедобная
<i>P. elaeagnifolia</i> № 11	3	2,5	3	С	Несъедобная
<i>P. pyrifolia</i> × <i>P. elaeagnifolia</i> № 2	1	2,3	3	В	Несъедобная
<i>P. pyrifolia</i> × <i>P. nivalis</i> Jacq.	1	2,7	3	В	Несъедобная
<i>P. balansae</i> Decne	2	3,1	3	В	Условно-съедобная

Примечание. В – высокая; С – средняя.

Table 1

## Interspecific hybrids and pear species that are promising for breeding, Maikop experimental station – VIR branch, 2005–2023

Sample, genetic origin	Affection by fungal diseases, max. points	Height of 10-year-old trees	Year of beginning of fruiting	Yield	Fruit tasting assessment
<b>Selection for immunity</b>					
Vostochnaya Zolotistaya ( <i>P. pyrifolia</i> × Gnokko)	1	3.1	4	B	4.2
Dekanka Novaya (Doyenné d'Hiver × <i>P. pyrifolia</i> )	0	2.3	2	B	4.0
Dushistaya ( <i>P. aromatica</i> × Packham's Triumph + Beurre Lade)	1	2.6	3	B	3.9
Luchistaya (Martin × ( <i>P. bretschneideri</i> × Felps))	1	2.5	3	B	4.1
Selecta (Martin × ( <i>P. bretschneideri</i> × Felps))	1	2.3	3	B	4.3
Sokovka (Doyenné d'Hiver × <i>P. pyrifolia</i> ), open pollination	1	2.5	3	B	4.0
<b>Rootstock selection</b>					
<i>P. regelii</i> Rehd. × <i>P. pyrifolia</i>	1	2.2	3	B	3.9
Complex ( <i>P. betulifolia</i> × <i>P. caucasica</i> ) × Beurre Lade + Packham's Triumph	2	2.3	3	B	Inedible
<i>P. salicifolia</i> No. 69-66	3	2.4	3	C	Inedible
<i>P. elaeagnifolia</i> Pall. No. 3	3	2.4	3	C	Inedible
<i>P. elaeagnifolia</i> No. 6	3	2.4	3	C	Inedible
<i>P. elaeagnifolia</i> No. 11	3	2.5	3	C	Inedible
<i>P. pyrifolia</i> × <i>P. elaeagnifolia</i> No. 2	1	2.3	3	B	Inedible
<i>P. pyrifolia</i> × <i>P. nivalis</i> Jacq.	1	2.7	3	B	Inedible
<i>P. balansae</i> Decne	2	3.1	3	B	Conditionally edible

Note. B – high; C – average.



**Методология и методы исследования (Methods)**

Видовое и сортовое разнообразие рода *Pyrus* L. широко представлено в мировой коллекции Майкопской ОС-филиала ВИР. Общее количество образцов, зарегистрированных в постоянном каталоге ВИР составляет 1123. В их числе 30 видов из основных генцентров, 215 видообразцов и форм, 875 сортов разного эколого-географического происхождения.

Последний перенос коллекционного сада на новое место произошел в 2005 году. Схема посадки 5 × 3 м. Каждый образец представлен тремя деревьями; в качестве подвоя использованы сеянцы *Pyrus caucasica* Fed.

При изучении образцов коллекции применяли апробированные методики [23], использовали полевой метод оценки.

В соответствии с методикой ежегодно оценивали состояние деревьев как показатель их адаптивности. Оценку проводили в баллах, от 5 до 0, где 5 – отличное состояние, 0 – дерево погибло полностью. Поражение грибными болезнями оценивали в баллах от 0 до 5 (0 – отсутствие поражения). Общую степень подмерзания оценивали по степени повреждения вегетативных и генеративных органов экстремально низкими температурами от 0 до 5 баллов (0 – отсутствие повреждения). Определение засухоустойчивости и жаростойкости проводили по шкале от 0 до 3 баллов, где 0 – отсутствие повреждений, 3 – повреждение всех листьев (плодов).

Для характеристики погодных условий использованы результаты наблюдений, предоставленные метеопостом Майкопской опытной станции – филиала ВИР.

**Результаты (Results)**

Майкопская опытная станция – филиал ВИР находится в предгорной зоне Северо-Западного Кавказа. В этом регионе стабильное плодоношение и получение товарного урожая груши ограничивает ряд неблагоприятных факторов. Это прежде всего неустойчивый температурный режим зимой и весной, который иногда приводит к повреждению ветвей, часто – генеративных органов; летом засуха и жара вызывают ухудшение состояния деревьев. Пагубное влияние оказывают грибные болезни и вредители.

Наиболее вредоносными грибными болезнями являются септориоз, или белая пятнистость (*Septoria piricola* Desm.), энтомоспориоз, или бурая пятнистость (*Entomosporium maculatum* Lev.), парша (*Venturia pirina* Aderh.). Восприимчивые образцы коллекции ежегодно поражены на 3–4 балла. К устойчивым мы относили образцы с повреждением листьев и плодов не более 2 баллов. Наиболее высокую комплексную устойчивость проявляют восточные виды и гибриды с их участием.

Как показал анализ погодных условий, в зимние месяцы температурный режим не отличался стабильностью. Снижение температур до критических значений наблюдалось в декабре 2016 года (–21,7 °С), январе 2006 года (–30 °С), в феврале 2007 года (–22,5 °С) после длительной оттепели; в феврале 2012 года (–23,2 °С), в феврале 2017 года (–22,1 °С) после оттепели, в марте 2014 года (–9,2 °С) в начале цветения, что привело к повреждению многих образцов коллекции. Неоднократно в июле и августе 2005, 2007, 2008, 2010, 2014, 2017, 2018 годов наблюдалась очень жаркая и сухая погода, температура воздуха повышалась до +40...+45 °С. Такие условия позволили провести объективную полевую оценку адаптивных качеств образцов коллекции. К зимостойким относили сорта и виды с повреждением в зимний период не более 2 баллов; к засухоустойчивым и жаростойким – с отсутствием повреждений листьев и плодов в летний период (0 баллов).

Проведенная нами оценка коллекционного фонда позволила выделить более 100 образцов груши, обладающих зимостойкостью и засухоустойчивостью, в том числе виды, гибриды и сорта. Однако лишь у немногих из них качество плодов было выше среднего. Многие сорта были восприимчивы к грибным болезням. Практический интерес для селекции представляют полученные с участием восточных и западных видов груши гибриды и сорта, в генотипе которых высокая адаптивность совмещается с хорошим качеством плодов (таблица 1).

Все образцы, представленные в таблице 1, обладают хорошей зимостойкостью и засухоустойчивостью. За годы наблюдений повреждение деревьев критическими температурами зимнего периода составляло не более 2 баллов; в годы с высокими летними температурами повреждений плодов и листьев не наблюдалось (0 баллов).

Наиболее высокую устойчивость к грибным болезням проявили сорта и гибриды, полученные сотрудниками Майкопской опытной станции – филиала ВИР с участием восточных видов *P. pyrifolia*, *P. bretschneideri*, *P. aromatica* Kikuchi et Nakai. Многие генотипы, кроме устойчивости к грибным болезням, являются источниками комплекса ценных признаков: обладают исключительно ранним вступлением в плодоношение и высоким ежегодным урожаем. Особенно это характерно для сорта Деканка Новая (рис. 1), который начинает плодоносить уже на 2-й год после посадки деревьев. У сорта Душистая (*P. aromatica* × Триумф Пакама + Бере Ляде) отмечены очень позднее начало созревания плодов и их ярко-красный румянец. Слаборослостью обладают сорта Лучистая, Душистая, Селекта, Соковка. По качеству плодов лучшим является сорт Селекта, также скороплодный и урожайный.



Деканка Новая

*P. elaeagnifolia* № 6

Рис. 1. Перспективные для селекции межвидовые гибриды и виды груши, Майкопская ОС-филиал ВИР, 3-летние деревья

Dekanka Novaya

*P. elaeagnifolia* No. 6

Fig. 1. Interspecific hybrids and pear species that are promising for breeding, Maikop ES-branch of VIR, 3-year-old trees

Для селекции подвоев нами выделен межвидовой гибрид *P. regelii* × *P. pyrifolia* (таблица 1), который обладает отличными адаптивными свойствами, устойчив к неблагоприятным погодно-климатическим факторам и грибным болезням. Он стабильно сохраняет высокую продуктивность, сочетая ее с небольшими размерами дерева, высокой побеговостановительной способностью, имеет плоды неплохого качества. Для селекции подвоев могут представлять интерес представители видов *P. salicifolia* и *P. elaeagnifolia* (рис. 1), которые были собраны в засушливых регионах Крыма и Кавказа, обладающие слаборослостью и устойчивостью к неблагоприятным погодно-климатическим условиям.

В коллекции Майкопской опытной станции – филиала ВИР имеется более 60 сортов, полученных селекционерами различных НИУ с участием восточных видов *P. oboidea* Rehd., *P. serrulata* Rehd., *P. ussuriensis*, *P. bretschnideri*, *P. pyrifolia*, местные сорта Средней Азии и Кавказа.

Многие из них обладают устойчивостью к грибным болезням и высокой продуктивностью, однако недостаточно зимостойки либо имеют недостаточно хороший вкус плодов. Оптимальное сочетание признаков адаптивности, продуктивности и качества плодов отмечено нами у сортов, которые являются гибридами F2 и F3 *P. ussuriensis*. В качестве их родительских форм были использованы сорта Нежность [(Финляндская желтая × *P. ussuriensis*) × Любимица Клаппа] и Бере Зимняя Мичурина (*P. ussuriensis* × Бере Рояль) (таблица 2).

Все сорта, представленные в таблице 2, являются устойчивыми к низким температурам зимнего периода (повреждение 1–2 балла) и к грибным болезням (поражение не более 2 баллов). Наиболее устойчивыми к болезням являются сорта Августовская Роса, Талгарская Красавица и Махсудар (поражение не более 1 балла). Дегустационная оценка плодов изменяется от 3,9 до 4,7 балла. По вкусу плодов лучшим является сорт Россошанская Ранняя. Большинство сортов – позднелетнего и осеннего срока созревания.

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

Использование отдаленных и внутривидовых гибридов различных поколений, а также сортов, выведенных селекционерами других регионов, может значительно повысить эффективность селекционной работы с грушей. Как показали результаты исследования, выделенные генотипы груши, производные восточных и западных видов, совмещают достаточно хорошее качество плодов и устойчивость к абиотическим и биотическим факторам.

Выделенные межвидовые гибриды с участием восточных видов *P. pyrifolia*, *P. aromatica*, *P. bretschnideri* сохраняют присущие этим видам высокую устойчивость к грибным болезням, скороплодность и высокую продуктивность. При этом качество плодов у большинства гораздо лучше, чем у исходных видов.

Представители западных видов *P. salicifolia* и *P. elaeagnifolia* обладают высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью, что связано с их эколого-географическим происхождением. Их слаборослые формы перспективны для селекции подвоев.

Таблица 2

Характеристика сортов, выделенных в качестве источников для селекции груши в южной зоне (Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 2005–2023 годы)

Агротехнологии

Сорт, происхождение	Максимальное повреждение, баллов		Характеристика плодов		
	Низкими температурами зимнего периода	Грибными болезням	Начало потребления, месяц	Средняя масса, г	Дегустационная оценка вкуса, баллов
Августовская Роза (Нежность × Триумф Пакгама)	1	1	VIII	150	4,5
Августовская Караняна (Бере зимняя Мичурина × Лесная Красавица)	2	2	VIII	170	4,0
Тихий Дон (Россошанская красивая × Мраморная)	1	2	IX	210	4,6
Россошанская Ранняя (Россошанская Красивая × Мраморная)	1	2	VIII	150	4,7
Мраморная (Бере Зимняя Мичурина × Лесная Красавица)	1	2	VIII–IX	165	3,9
Десертная Россошанская (Бере зимняя Мичурина × Лесная Красавица)	1	2	IX–X	160	4,2
Талгарская Красавица (Лесная Красавица × восточный вид)	1	1	X–XI	150	4,3
Махсуддар (Нар Армуд × Сен Жермен)	1	1	X–XI	140	4,4
Яй Гюрен (Нар Армуд × Пасс Крассан)	2	2	I	230	4,3

Table 2

Characteristics of varieties identified as sources for pear breeding in the south of Russia (Maikop experimental station – VIR branch, 2005–2023)

Variety, origin	Maximum damage, points		Fruit characteristics		
	By low temperatures of the winter period	By fungal diseases	Start of consumption, month	Average weight, g	Tasting evaluation of taste, score
<i>Avgustovskaya Rosa (Nezhnost' × Pakham's Triumph)</i>	1	1	VIII	150	4.5
<i>Avgustovskaya Karanyana (Bere Zimnyaya Michurina × Beaute de Flandres)</i>	2	2	VIII	170	4.0
<i>Tikhiy Don (Rossoshanskaya Krasivaya × Mramornaya)</i>	1	2	IX	210	4.6
<i>Rossoshanskaya Rannyaya (Rossoshanskaya krasivaya × Mramornaya)</i>	1	2	VIII	150	4.7
<i>Mramornaya (Bere Zimnyaya Michurina × Beaute de Flandres)</i>	1	2	VIII–IX	165	3.9
<i>Desertnaya Rossoshanskaya (Bere Zimnyaya Michurina × Beaute de Flandres)</i>	1	2	IX-X	160	4.2
<i>Talgarskaya Krasavitsa (Beaute de Flandres × eastern variety)</i>	1	1	X–XI	150	4.3
<i>Makhsuldar (Nar Armud × Saint-Germain)</i>	1	1	X–XI	140	4.4
<i>Yay Gyuren (Nar Armud × Passe-Crassane)</i>	2	2	I	230	4.3



Гибрид Комплексная [(*P. betulifolia* × *P. caucasica*) × Бере Ляде + Триумф Пакгама], который является производным высоко адаптированного вида груша березолистная (*P. betulifolia* Bunge), обладает хорошей адаптивностью, небольшими размерами дерева, высокой ежегодной продуктивностью. Межвидовые гибриды *P. pyrifolia* × *P. elaeagnifolia* и *P. pyrifolia* × *P. nivalis* отличаются стабильной высокой продуктивностью, устойчивостью к болезням и экстремальным температурам. Кроме этого, они имеют необычный для груши габитус дерева: угол отхождения скелетных ветвей от ствола близок к прямому. *P. balansae* Despe. (груша Баланзы) обладает интересным свойством: ее сеянцы образуют обильную корневую поросль. Это свойство можно использовать в селекции вегетативных подвоев.

Сорта – производные *P. ussuriensis* – Тихий Дон, Россошанская Ранняя, Мраморная, Десертная Россошанская, Августовская Караняна, Августовская Роса – проявили высокие адаптивные свойства, присущие исходному виду, в сочетании с хорошим качеством плодов.

Сорт Талгарская красавица, в фенотипе которого явно прослеживаются морфологические признаки, присущие восточным видам; сорта Махсулдар и Яй Гюрен, полученные с участием местного высококачественного зимнего сорта народной селекции Азербайджана Нар Армуд, проявили высокую зимостойкость и устойчивость к грибным болезням. Они обладают высокой продуктивностью, хорошим и отличным качеством плодов поздних сроков созревания.

Таким образом, для включения в селекционные программы в южной зоне перспективны следующие сорта груши, производные дикорастущих видов, для селекции на зимостойкость: Тихий Дон, Россошанская Ранняя, Мраморная, Десертная Россошанская; на устойчивость к болезням: Деканка Новая, Селекта; на зимостойкость и устойчивость к болезням: Талгарская Красавица, Махсулдар, Августовская Роса.

Для селекции подвоев выделены представители видов *P. salicifolia*, *P. elaeagnifolia*, *P. balansae* и межвидовые гибриды *P. regelii* × *P. pyrifolia*, Комплексная, *P. pyrifolia* × *P. elaeagnifolia*, *P. pyrifolia* × *P. nivalis*.

#### Библиографический список

1. Помология: в 5 т. Т. II. Груша. Айва / Под ред. Е. Н. Седова, Е. А. Долматова. Москва: РАН, 2022. 388 с.
2. Свистунова Н. Ю., Бурменко Ю. В. Современные достижения и направления селекции груши (*Pyrus L.*) в России (обзор) // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 85–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-85-92.
3. Чепинога И. С. Приоритетные направления и источники хозяйственно-ценных признаков в селекции груши (*Pyrus L.*) // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 98. С. 126–131. DOI: 10.21515/1999-1703-98-126-131.
4. Егоров Е. А. Направления и приоритеты сорто-породной селекции садовых культур и винограда на юге России [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2012. № 18 (6). URL: <http://journal.kubansad.ru/pdf/12/06/01.pdf> (дата обращения: 17.07.2024).
5. Седов Е. Н., Красова Н. Г., Долматов Е. А. Краткие итоги селекции груши во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 53–55. DOI: 10.28983/asj.y2021i10pp53-55.
6. Brewer L. R., Palmer J. W. Global pear breeding programmes: goals, trends and progress for new cultivars and new rootstocks // *Acta Horticulturae*. 2011. Vol. 909. Pp. 105–119. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.909.10.
7. Li J., Zhang M., Li X., et al. Pear genetics: recent advances, new prospects, and a roadmap for the future // *Horticulture Research*. 2022. Vol. 9. Article number uhab040. DOI: 10.1093/hr/uhab040.
8. Туз А. С., Яковлев С. П. Груша: достижения селекции плодовых культур и винограда. Москва: Колос, 1983. С. 53–71.
9. Кириллов Р. Е., Чивилев В. В. Устойчивость гибридных сеянцев груши к грушевому галловому клещу // XXVI Мичуринские чтения «Развитие научного наследия И. В. Мичурина в решении проблем современного садоводства»: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 165-летию со дня рождения И. В. Мичурина. Санкт-Петербург, 2021. С. 126–130.
10. Kaviani M., Goodwin P. H., Hunter D. M. Pear rootstock effects on seasonal colonization patterns of pear decline phytoplasma // *Horticulturae*. 2024. Vol. 10 (2). Article number 129. DOI: 10.3390/horticulturae10020129.
11. Tsiupka S. Y., Balykina E. B., Yagodinskaya L. P., Korzh D. A., Rybareva T. S. Pests of Crimean pear gardens // *Acta Horticulturae*. 2020. Vol. 1269. Pp. 255–259. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1269.34.
12. Musacchi S., Dondini L., Pierantoni L., Ghiotti F., Ancarani V., Sansavini S. Miglioramento genetico del pero e studi molecolari per l'individuazione di marcatori per la resistenza al colpo di fuoco e alla psilla // *Italus Hortus*. 2006. Vol. 13 (6). Pp. 60–63.
13. Terakami Sh., Ogata N., Kita K., Gonai T., Saito T., Yamamoto T. Identification and genetic mapping of novel resistance gene, *Rvm4*, for pear scab in Chinese pear // *Scientia Horticulturae*. 2023. Vol. 317. Article number 112032. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112032.

14. Tomes S., Gunaseelan K., Dragulescu M., Wang Ye.Yi., Guo L., Schaffer R.J., Varkonyi-Gasic E. A MADS-box gene-induced early flowering pear (*Pyrus communis* L.) for accelerated pear breeding // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article number 1235963. DOI: 10.3389/fpls.2023.1235963.
15. Hu J., Huang B., Yin H., Qi K., Jia Yu., Xie Zh., Gao Yu., Li H., Li Q., Wang Z., Zou Y., Zhang Sh., Qiao X. PearMODB: a multiomics database for pear (*Pyrus*) genomics, genetics and breeding study // *Database*. 2023. Vol. 2023. Article number baad050. DOI: 10.1093/database/baad050.
16. Domenichini C., Negri P., Defrancesco M., Alessandri S., Bergonzoni L., яVerde I., Malnoy M., Broggin G.A.L., Patocchi A., Peil A., Emeriewen O.F., Dondini L., Tartarini S. New breeding technology approaches to improve apple and pear cultivars // *Acta Horticulturae*. 2023. Vol. 1362. Pp. 199–204. DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1362.27.
17. Liu R., Gao Ch., Jin J., Wang Y., Jia X., Ma H., Zhang Yu., Zhang H., Qi B., Xu J. Induction and identification of tetraploids of pear plants (*Pyrus bretschneideri* and *Pyrus betulaefolia*) // *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 304 (2). Article number 111322. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111322.
18. Можар Н. В. Испытание новых сортов груши южно-уральской селекции в условиях Юга России // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021. № 70 (4). С. 16–26. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-16-26.
19. Simionca Mărcășan L. I., Pop R., Somsai P. A., Oltean I., Popa S., Sestras A. F., Militaru M., Botu M., Sestras R. E. Comparative evaluation of *Pyrus* species to identify possible resources of interest in pear breeding // *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (5). Article number 1264. DOI: 10.3390/agronomy13051264.
20. Общая и частная селекция и сортоведение плодовых и ягодных культур / Г. В. Еремин, А. В. Исачкин, И. В. Казаков [и др.] ; под ред. Г. В. Еремина. Москва: Мир ; Колос, 2004. 421 с.
21. Фалкенберг Э. А. Уссурийская груша – донор устойчивости к биотическим и абиотическим факторам внешней среды // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2006. № 2. С. 43–37.
22. Dolmatov E. A., Hamurzaev S. M., Gaplaev M. S., Borzaev R. B., Shaipov A. N. Ontogenesis peculiarities to aboriginal Chechen shapes of willow-leaf pear under intensification of pear breeding process // *2020 International conference on engineering studies and cooperation in global agricultural production*. Zernograd, Rostov Region. 2021. Article number 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012088.
23. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.

#### Об авторах:

**Ирина Анатольевна Бандурко**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Современные агротехнологии и мониторинг плодородия почв», Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0001-6367-0886, AuthorID 653659. *E-mail: 55irina@bk.ru*

**Зара Шахмардановна Дагужиева**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0001-5834-1762, AuthorID 513200. *E-mail: zaradaguzhiy@mail.ru*

**Максим Игоревич Шаповалов**, доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией биоэкологического мониторинга беспозвоночных животных Адыгеи, Институт живых систем и инженерии здоровья, Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0002-5351-2873, AuthorID 534963. *E-mail: shapmaksim2017@yandex.ru*

#### References

1. Pomology: in 5 volumes. Vol. II. *Pear. Quince* / Edited by E. N. Sedov, E. A. Dolmatov. Moscow: RAN, 2022. 388 p. (In Russ.)
2. Svistunova N. Yu., Burmenko Yu. V. Pear breeding (*Pyrus* L.) modern achievements and directions in Russia (review). *Bulliten KrasSAU*. 2022; 2 (179): 85–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-85-92. (In Russ.)
3. Chepinoga I. S. Priority areas and sources economically valuable traits in pear breeding (*Pyrus* L.). *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; 98: 126–131. DOI: 10.21515/1999-1703-98-126-131. (In Russ.)
4. Egorov E. A. Tendencies and priorities of sort-varieties breeding of horticultural crops and grapes in the South of Russia. *Fruit growing and viticulture in the South of Russia* [Internet]. 2012 [cited 2024 Jul 17]; 18 (6). Available from: <http://journal.kubansad.ru/pdf/12/06/01.pdf>. (In Russ.)
5. Sedov E. N., Krasova N. G., Dolmatov E. A. Brief results of pear breeding at the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. *Agrarian Scientific Journal*. 2021; 10: 53–55. DOI: 10.28983/asj.y2021i10pp53-55. (In Russ.)
6. Brewer L. R., Palmer J. W. Global pear breeding programs: goals, trends and progress for new cultivars and new rootstocks. *Acta Horticulturae*. 2011; 909: 105–119. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.909.10.
7. Li J., Zhang M., Li X., Khan A., Kumar S., Allan A.Ch., Lin-Wang K., Espley R. V., Wang C., Wang R., Xue Ch., Yao G., Qin M., Sun M., Tegtmeier R., Liu H., Wei W., Ming M., Zhang Sh., Zhao K. et al. Pear genet-358

ics: recent advances, new prospects, and a roadmap for the future. *Horticulture Research*. 2022; 9: uhab040. DOI: 10.1093/hr/uhab040.

8. Tuz A. S., Yakovlev S. P. *Pear: Achievements in Breeding Fruit Crops and Grapes*. Moscow: Kolos, 1983. P. 53–71. (In Russ.)

9. Kirillov R. E., Chivilev V. V. Resistance of pear hybrid seedlings to pear gall mite. *XXVI Michurin Readings "Development of the scientific heritage of I.V. Michurin in solving the problems of modern horticulture": Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 165th anniversary of the birth of I. V. Michurin*. Saint Petersburg: Skifia-print, 2021. Pp. 126–130.

10. Kaviani M., Goodwin P. H., Hunter D. M. Pear rootstock effects on seasonal colonization patterns of pear decline phytoplasma. *Horticulturae*. 2024; 10 (2): 129. DOI: 10.3390/horticulturae10020129. (In Russ.)

11. Tsiupka S. Y., Balykina E. B., Yagodinskaya L. P., Korzh D. A., Rybareva T. S. Pests of Crimean pear gardens. *Acta Horticulturae*. 2020; 1269: 255–259. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1269.34.

12. Musacchi S., Dondini L., Pierantoni L., Ghiotti F., Ancarani V., Sansavini S. Miglioramento genetico del pero e studi molecolari per l'individuazione di marcatori per la resistenza al colpo di fuoco e alla psilla. *Italus Hortus*. 2006; 13 (6): 60–63.

13. Terakami Sh., Ogata N., Kita K., Gonai T., Saito T., Yamamoto T. Identification and genetic mapping of novel resistance gene, Rvn4, for pear scab in Chinese pear. *Scientia Horticulturae*. 2023; 317: 112032. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112032.

14. Tomes S., Gunaseelan K., Dragulescu M., Wang Ye. Yi., Guo L., Schaffer R. J., Varkonyi-Gasic E. A MADS-box gene-induced early flowering pear (*Pyrus communis* L.) for accelerated pear breeding. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1235963. DOI: 10.3389/fpls.2023.1235963.

15. Hu J., Huang B., Yin H., Qi K., Jia Yu., Xie Zh., Gao Yu., Li H., Li Q., Wang Z., Zou Y., Zhang Sh., Qiao X. PearMODB: a multiomics database for pear (*Pyrus*) genomics, genetics and breeding studies. *Database*. 2023; 2023: baad050. DOI: 10.1093/database/baad050.

16. Domenichini C., Negri P., Defrancesco M., Alessandri S., Bergonzoni L., Verde I., Malnoy M., Broggin G. A. L., Patocchi A., Peil A., Emeriewen O. F., Dondini L., Tartarini S. New breeding technology approaches to improve apple and pear cultivars. *Acta Horticulturae*. 2023; 1362: 199–204. DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1362.27.

17. Liu R., Gao Ch., Jin J., Wang Y., Jia X., Ma H., Zhang Yu., Zhang H., Qi B., Xu J. Induction and identification of tetraploids of pear plants (*Pyrus bretschneideri* and *Pyrus betulaefolia*). *Scientia Horticulturae*. 2022; 304 (2): 111322. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111322.

18. Mozhar N. V. Testing of new varieties of South Ural pear breeding in the conditions of South of Russia. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*. 2021; 70 (4): 16–26. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-16-26.

19. Simionca Mărcășan L. I., Pop R., Somsai P. A., Oltean I., Popa S., Sestras A. F., Militaru M., Botu M., Sestras R. E. Comparative evaluation of *Pyrus* species to identify possible resources of interest in pear breeding. *Agronomy*. 2023; 13 (5): 1264. DOI: 10.3390/agronomy13051264.

20. *General and Specific Selection and Varietal Development of Fruit and Berry Crops*. G. V. Eremin, A. V. Isachkin, I. V. Kazakov, et al. ; edited by G. V. Eremin. Moscow: Mir ; Kolos, 2004. 421 p. (In Russ.)

21. Falkenberg E. A. Ussuri pear – donor of resistance to biotic and abiotic environmental factors. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2006; 2: 43–37. (In Russ.)

22. Dolmatov E. A., Hamurzaev S. M., Gaplaev M. S., Borzaev R. B., Shaipov A. N. Ontogenesis peculiarities to aboriginal Chechen shapes of willow-leaf pear under intensification of pear breeding process. *2020 International conference on engineering studies and cooperation in global agricultural production*. Zernograd, 2021. Article number 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012088. (In Russ.)

23. *Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops*. Orel: VNIISPK, 1999. 608 p. (In Russ.)

#### Authors' information:

**Irina A. Bandurko**, doctor of agricultural sciences, professor, leading researcher at the research laboratory “Modern Agricultural Technologies and Soil Fertility Monitoring”, Maikop State Technological University, Maikop, Russia; ORCID 0000-0001-6367-0886, AuthorID 653659. *E-mail: 55irina@bk.ru*

**Zara Sh. Daguzhieva**, candidate of agricultural sciences, associate professor at the department of agricultural production technology, Maikop State Technological University, Maikop, Russia; ORCID 0000-0001-5834-1762, AuthorID 513200. *E-mail: zaradaguzhiy@mail.ru*

**Maksim I. Shapovalov**, doctor of biological sciences, associate professor, head of the laboratory of bioecological monitoring of invertebrate animals of Adygea, Institute of Living Systems and Health Engineering, Maikop, Adyge State University, Russia; ORCID 0000-0002-5351-2873, AuthorID 534963.

*E-mail: shapmaksim2017@yandex.ru*



## Формирование урожайности и качества зерна твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана

Р. С. Жылкыбаев<sup>1</sup>, Т. Ю. Жигула<sup>1</sup>, А. Л. Шпигель<sup>2</sup>, И. В. Потоцкая<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> НППЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева, Шортанды, Казахстан

<sup>2</sup> Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

<sup>3</sup> Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия

✉ E-mail: [iv.pototskaya@omgau.org](mailto:iv.pototskaya@omgau.org)

**Аннотация.** В последние годы в Северном Казахстане отмечен всплеск интереса фермеров к возделыванию сортов твердой пшеницы. Это связано с ростом экспортных продаж зерна твердой пшеницы в страны Средиземноморского бассейна. Для увеличения валовых сборов зерна необходимы новые урожайные сорта твердой пшеницы с качеством зерна, отвечающим требованиям современного производства его переработки. **Цель исследований** – селекционная оценка сортов и линий по урожайности и качеству зерна, выделение перспективных генотипов для селекции твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана. **Методы.** В конкурсном сортоиспытании НППЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева изучены реестровые сорта и перспективные линии твердой пшеницы в 2021–2023 гг., методы исследования полевые и лабораторные. **Научная новизна.** В условиях Северного Казахстана получены новые научные данные по формированию реестровыми сортами и перспективными линиями яровой твердой пшеницы урожайности и технологических признаков зерна. Изучена взаимосвязь урожайности и хозяйственно ценными признаками для повышения эффективности отбора селекционного материала при создании сортов твердой пшеницы. **По результатам** исследований целесообразно проводить отбор селекционного материала по озерненности, продуктивности колоса и растения, учитывая риск снижения урожайности короткостебельных сортов. Выделены линии 156-11-10, 270-16-13 и 28-16-15 с урожайностью 19,7–21,5 ц/га, характеризующиеся клейковиной 1-й группы качества (51–66 ед.), содержанием белка и клейковины 16,2–17,3 % и 33,3–36,9 %, рекомендуемые для передачи на Государственное сортоиспытание и в качестве исходного материала для создания урожайных сортов твердой пшеницы с высоким качеством зерна.

**Ключевые слова:** твердая пшеница, конкурсное сортоиспытание, урожайность, качество зерна, взаимосвязь признаков, Северный Казахстан

**Для цитирования:** Жылкыбаев Р. С., Жигула Т. Ю., Шпигель А. Л., Потоцкая И. В. Формирование урожайности и качества зерна твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 360–370. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-360-370>.

**Дата поступления статьи:** 12.10.2024, **дата рецензирования:** 23.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

## Formation of yield and grain quality of durum wheat under conditions of Northern Kazakhstan

R. S. Zhylykbaev<sup>1</sup>, T. Yu. Zhigula<sup>1</sup>, A. L. Shpigel<sup>2</sup>, I. V. Pototskaya<sup>3</sup>✉

<sup>1</sup> Scientific and Production Center of Grain Farming named after A. I. Baraev, Shortandy, Kazakhstan

<sup>2</sup> Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia

<sup>3</sup> Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

✉ E-mail: [iv.pototskaya@omgau.org](mailto:iv.pototskaya@omgau.org)

**Abstract.** In recent years, there has been an increasing of interest among farmers for cultivation of durum wheat varieties in Northern Kazakhstan. Due to the growth of export sales of durum wheat grain to countries of the Mediterranean basin. To increase gross grain harvests, new high-yielding varieties of durum wheat with grain quality that meets the requirements of modern grain processing production are needed. **The purpose** of the research is to evaluate the yield and grain quality of varieties and lines to identify promising genotypes for breeding of durum wheat in conditions of Northern Kazakhstan. **Methods.** In the competitive variety trial of scientific and production center of grain farming released varieties and promising lines of durum wheat were studied in 2021–2023 with usage field and laboratory research methods. **Scientific novelty.** New scientific data were obtained on the formation of yield and technological traits of grain by released varieties and promising lines of spring durum wheat under conditions of Northern Kazakhstan. The relationship between yield and economically valuable traits was studied to improve the efficiency of selection of breeding material for development of durum wheat varieties. According to **research results**, it is recommended to select breeding material based on number of grain per, grain weight per spike and plant, taking into account the risk of reducing the yield of semi-dwarf varieties. Lines 156-11-10, 270-16-13, and 28-16-15 with yield of 19.7–21.5 c/ha, characterized by gluten of the 1<sup>st</sup> quality group (51–66 units), protein and gluten content of 16.2–17.3 % and 33.3–36.9 % were selected. These lines are recommended for transfer to State Variety Trial and as initial material for development of high-yielding varieties of durum wheat with high grain quality.

**Keywords:** durum wheat, competitive variety testing, yield, grain quality, relationship of traits, Northern Kazakhstan

**For citation:** Zhylykbaev R. S., Zhigula T. Yu., Shpigel A. L., Pototskaya I. V. Formation of yield and grain quality of durum wheat under conditions of Northern Kazakhstan. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 360–370. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-360-370>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 12.10.2024, **date of review:** 23.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

В Северном Казахстане твердая пшеница (*T. durum* Desf.) обладает большим производственным потенциалом для увеличения валовых сборов зерна в регионе. Благодаря повышению экспорта культуры наблюдается устойчивая тенденция роста посевных площадей, занятых сортами твердой пшеницы, которые составляют в среднем 5–6 % от площади возделывания яровой пшеницы в степной зоне Северного Казахстана. Основными импортерами казахстанского зерна твердой пшеницы служат страны Средиземноморского бассейна – Италия и Турция [1]. Ключевым аспектом в создании новых высокоурожайных сортов твердой пшеницы является развитие местных селекционных программ с привлечением перспективного исходного материала иностранной селекции и использованием современных молекулярно-генетических технологий [2; 3]. Генетическое разнообразие культуры и постоянное пополнение ее генофонда также играет

ведущую роль в успехе селекционных программ по твердой пшенице [4; 5]. Неблагоприятные факторы внешней среды, лимитирующие урожайность сортов твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана, – повышение частоты сухих и жарких лет, болезни и вредители. Основным резервом повышения урожайности и ее стабильности в агроценозах твердой пшеницы в регионе является формирование оптимальных показателей густоты продуктивного стеблестоя, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен [6]. Технологические признаки качества зерна твердой пшеницы также важны для качества конечных продуктов переработки зерна, в этой связи в селекции уделяется большое внимание изучению этих признаков [7; 8]. Оценка взаимосвязи урожайности, ее компонентов и качества зерна необходима с целью установления критериев отбора селекционного материала при создании сортов, пригодных для производства высококачественных макаронных и крупяных изделий [9; 10].

Таблица 1

Происхождение сортообразцов питомника КСИ

Сорт, линия	Год включения в реестр	Родословная	Разновидность
Дамсинская 90	1995	Гибрид 491 / Алмаз	Леукурум
Дамсинская янтарная	2007	Дамсинская 90 / Саратовская 210	Леукурум
Корона	2009	Харьковская 17 / Алтайка	Гордеиформе
Лавина	2015	к-118-86-1, к-48235 / Ангара // Целиноградская 85	Гордеиформе
Дамсинская юбилейная	2017	Сосорит 71 / Саратовская 29	Гордеиформе
Дамсинская 20-17	2022	Саратовская 57 / Жемчужина Сибири	Гордеиформе
Линия 252-10-2	–	Луце 206 / Омская янтарная	Леукурум
Линия 272-08-9	–	к-317/6 / Дамсинская янтарная	Леукурум
Линия 156-11-10	–	Жемчужина Сибири / AZ-3	Леукурум
Линия 270-16-13	–	Алтын Дала / Дамсинская янтарная	Леукурум
Линия 28-16-15	–	Гордеиформе 616 / Дамсинская 90	Леукурум

Table 1

Origin of accessions of competitive variety trial nursery

Variety, line	Year of inclusion into register	Pedigree	Botanical varieties
<i>Damsinskaya 90, standard</i>	1995	<i>Hybrid 491 / Almaz</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Damsinskaya yantarnaya</i>	2007	<i>Damsinskaya 90 / Saratovskaya 210</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Korona</i>	2009	<i>Khar'kovskaya 17 / Altayka</i>	<i>Hordeiforme</i>
<i>Lavina</i>	2015	<i>k-118-86-1, k-48235 / Angara // Tselinogradskaya 85</i>	<i>Hordeiforme</i>
<i>Damsinskaya yubileynaya</i>	2017	<i>Cocorit 71 / Saratovskaya 29</i>	<i>Hordeiforme</i>
<i>Damsinskaya 20-17</i>	2022	<i>Saratovskaya 57 / Zhemchuzhina Sibiri</i>	<i>Hordeiforme</i>
<i>Line 252-10-2</i>	–	<i>Luce 206 / Omskaya yantarnaya</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Line 272-08-9</i>	–	<i>k-317/6 / Damsinskaya yantarnaya</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Line 156-11-10</i>	–	<i>Zhemchuzhina Sibiri / AZ-3</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Line 270-16-13</i>	–	<i>Altyn Dala / Damsinskaya yantarnaya</i>	<i>Leucurum</i>
<i>Line 28-16-15</i>	–	<i>Hordeiforme 616 / Damsinskaya 90</i>	<i>Leucurum</i>

Цель исследования – селекционная оценка сортов и линий по урожайности и качеству зерна, выделение перспективных генотипов для селекции твердой пшеницы в условиях Северного Казахстана.

**Методология и методы (Methods)**

Материалом исследований служили зарегистрированные сорта твердой пшеницы селекции НПЦ зернового хозяйства им. А.И. Бараева, изученные в конкурсном сортоиспытании (КСИ): Дамсинская 90 (стандарт), Дамсинская янтарная, Дамсинская юбилейная, Корона, Лавина и перспективные линии 252-10-2, 272-08-9, 156-11-10, 270-16-13, 28-16-15 (таблица 1). Сорта и линии, изученные в питомнике КСИ, получены в НПЦ зернового хозяйства, в основном методом простых парных скрещиваний с последующим индивидуальным отбором из гибридных популяций F4–F5 и допущены к возделыванию в Акмолинской области.

Посев питомника конкурсного сортоиспытания проводили в четырехкратной повторности, пло-

щадь делянки – 25 м<sup>2</sup>, полевые наблюдения – в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания [11]. Уборка селекционного питомника КСИ проводилась комбайном Wintersteiger (Австрия).

Показатели технологических свойств зерна изучали в аналитическом центре по определению качества почвы и растениеводческой продукции ТОО «НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева»: содержание белка – по СТ РК1564-2006 «Определение основных показателей качества зерна с использованием инфракрасного анализатора (ИнфраЛЮМ ФТ-10Ю, Люмэкс, Россия); содержание сырой клейковины – по СТ РК 1054-2002 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице с использованием механизированных средств»; качество клейковины оценивали по индексу деформации клейковины на приборе ИДК-1 (Glutomatic-2200, Швеция); массу 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89 «Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен»; стекловидность зерна – по



ГОСТ 10987-64 «Зерно. Методы определения стекловидности»; содержание каротиноидных пигментов в муке твердой пшеницы, выраженное в мг на 100 г сухого вещества, – по ГОСТР 56576-2015 «Мука для производства макаронных изделий. Ме-

тод определения желтого пигмента»; натуру зерна, отражающую объемную массу зерна, оценивали по ГОСТ 10840-64 «Зерно. Методы определения натуры зерна». Оценку макаронных свойств осуществляли в соответствии с ГОСТ СТ РК 1046-2008.

Таблица 2  
Урожайность и хозяйственно ценные признаки у сортообразцов питомника КСИ, в среднем за 2021–2023 годы

Сорт, линия	Вегетационный период, сут.	Полевая всхожесть, шт/м <sup>2</sup>	Высота растения, см	Продуктивная кустистость, шт/растение	Количество зерен колоса, шт.	Масса зерна колоса, г	Масса зерна растения, г	Урожайность ц/га
Дамсинская 90, стандарт	86	284	81,4	1,57	24,0	1,14	1,70	21,7
Дамсинская янтарная	91*	279	77,7	1,47	23,6	1,07	1,60	20,8
Корона	84	279	79,3	1,30	24,6	1,10	1,33	19,6
Лавина	94*	300*	81,0	1,40	24,7	1,14	1,48	19,9
Дамсинская юбилейная	87	297*	80,9	1,33	22,9	1,09	1,37	21,1
Дамсинская 20-17	96*	281	81,6	1,47	24,7	1,16	1,78*	23,9*
Линия 252-10-2	97*	315*	72,7	1,40	19,1	1,01	1,27	21,6
Линия 272-08-9	93*	289	87,8*	1,23	25,4	1,06	1,27	19,1
Линия 156-11-10	96*	275	74,1	1,70*	21,3	1,11	1,82*	19,7
Линия 270-16-13	94*	297*	76,9	1,77*	22,1	1,08	1,72	20,1
Линия 28-16-15	97*	301*	86,5*	1,83*	29,1*	1,35*	2,50*	21,5
Среднее	93	291	80,0	1,50	23,8	1,12	1,62	20,8
НСР <sub>05</sub>	2,48	8,39	4,70	0,11	2,78	0,15	0,08	0,61

Примечание. \* Достоверное превышение над стандартом.

Table 2  
Yield and economically valuable traits of accessions in competitive variety trial nursery, on average for 2021–2023

Variety, line	Growing season, days	Field germination, pcs/m <sup>2</sup>	Plant height, cm	No. spikes per plant, pcs/plant	No. grains per spike, pcs.	Grain weight per spike, g	Grain weight per plant, g	Yield, c/ha
Damsinskaya 90, standard	86	284	81.4	1.57	24.0	1.14	1.70	21.7
Damsinskaya yantarnaya	91*	279	77.7	1.47	23.6	1.07	1.60	20.8
Korona	84	279	79.3	1.30	24.6	1.10	1.33	19.6
Lavina	94*	300*	81.0	1.40	24.7	1.14	1.48	19.9
Damsinskaya yubileynaya	87	297*	80.9	1.33	22.9	1.09	1.37	21.1
Damsinskaya 20-17	96*	281	81.6	1.47	24.7	1.16	1.78*	23.9*
Line 252-10-2	97*	315*	72.7	1.40	19.1	1.01	1.27	21.6
Line 272-08-9	93*	289	87.8*	1.23	25.4	1.06	1.27	19.1
Line 156-11-10	96*	275	74.1	1.70*	21.3	1.11	1.82*	19.7
Line 270-16-13	94*	297*	76.9	1.77*	22.1	1.08	1.72	20.1
Line 28-16-15	97*	301*	86.5*	1.83*	29.1*	1.35*	2.50*	21.5
Average	93	291	80.0	1.50	23.8	1.12	1.62	20.8
LSD <sub>05</sub>	2.48	8.39	4.70	0.11	2.78	0.15	0.08	0.61

Note. \* Reliable excess over standard.

Исследования проводились в Акмолинской области в подзоне засушливой степи на южном карбонатном черноземе. В 2021 году метеорологические условия вегетационного периода яровой пшеницы характеризовались как засушливые (ГТК = 0,5), всего за вегетационный период выпало 88,0 мм осадков, что на 48,3 мм ниже среднемноголетней нормы. В 2022 году также наблюдались засушливые условия вегетации (ГТК = 0,6), за исключением июля, когда выпало 92,8 % осадков от многолетней нормы. В 2023 году отмечены острозасушливые условия вегетации (ГТК = 0,2), всего за вегетационный период выпало 36,5 мм, что на 99,8 мм ниже среднемноголетней нормы. В целом в годы проведения исследований наблюдалась жаркая и засушливая погода, что не способствовало формированию высокой урожайности и развитию листовых болезней.

### Результаты (Results)

Результаты исследований не выявили существенных различий между сортообразцами питомника КСИ по урожайности и ее компонентам (таблица 2).

Перспективные линии твердой пшеницы отнесены к среднепоздней группе спелости (93–97 сут.) и превысили стандарт Дамсинская 90 по продолжительности вегетации на 7–11 сут. Достоверное отличие от стандарта по компонентам урожайности отмечено у линий 156-11-10, 28-16-15 и сорта Дамсинская 20-17, включая его превышение по урожайности (+2,2 ц/га). На уровне стандарта сформировали урожайность Дамсинская юбилейная, линии 252-10-2 и 28-16-15 (21,1–21,6 ц/га), полевая всхожесть этих сортообразцов составила 297–315 шт/м<sup>2</sup>, что выше показателя стандартного сорта. У изученных сортообразцов оценивали восемь параметров качества зерна (таблица 3).

Существенная разница ( $p < 0,05$ ) для содержания белка и стекловидности зерна отмечена между реестровыми сортами (16,3–17,4 % и 63,3–68,0 % соответственно) и селекционными линиями (14,7–16,2 % и 48,7–58,3 %). Перспективные линии твердой пшеницы не имели также преимуществ над сортами по накоплению каротиноидных пигментов (0,44–0,56 мг/100 г) и содержанию сырой клейковины (29,5–33,3 %). Исключение составляют линии 156-11-10, 270-16-13 и 28-16-15 по содержанию белка и сырой клейковины (16,2–17,3 % и 33,3–36,9 % соответственно). Более высокие параметры таких признаков, как масса 1000 зерен (47,3 г) и натура зерна (796 г/л), наблюдались у линии 252-10-2. Показатели ИДК (51–66 ед.), характеризующие качество клейковины, соответствовали 1-й группе качества (хорошая), кроме двух линий – 252-10-2 и 272-08-9. Кулинарные качества реестровых сортов твердой пшеницы составили 3,8–4,4 балла, сорт Дамсинская юбилейная превышает по данному по-

казателю стандарт. Эффективность отбора урожайных генотипов с высоким качеством зерна на основе взаимосвязи урожайности с ее компонентами и технологическими признаками качества выше при использовании анализа главных компонент (рис. 1, 2).

В наших исследованиях взаимосвязь урожайности с высотой растений была незначительной, что указывает на то, что отбор короткостебельных растений может привести к снижению урожайности в засушливых условиях Северного Казахстана. Три основных компонента урожайности – количество зерен колоса, масса зерна колоса и растения – в сильной степени коррелировали с урожайностью в 2021–2022 годах. Увеличение вегетационного периода также оказывало положительный эффект на повышение урожайности. В 2023 году ввиду жесткой засухи наблюдалось резкое снижение урожайности до 8,8–13,2 ц/га, что отразилось на слабых эффектах компонентов в формировании урожайности, за исключением продолжительности вегетации.

Содержание белка и ИДК имело отрицательную корреляцию с урожайностью, накопление клейковины в зерне также слабо связано с данным признаком (рис. 2). Положительная взаимосвязь отмечена между урожайностью и натурой, стекловидностью зерна, массой 1000 зерен. Погодные условия в годы исследований влияли на качество зерна, вызвав небольшое снижение показателей натуры, стекловидности, содержания белка и клейковины при большем количестве осадков в 2022 году.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На фоне климатических изменений, оказывающих существенное влияние на урожайность и признаки качества сортов твердой пшеницы, расширение генетического разнообразия сортимента производственных посевов является ключевой задачей для устойчивых валовых сборов высококачественного зерна [12; 13]. Генотипические особенности сортов твердой пшеницы и погодные условия существенно влияют на урожайность, концентрацию белка, количество и качество клейковины в зерне – основные показатели, определяющие качество макаронных изделий [14; 15]. В НПЦ зернового хозяйства в скрещивания привлекают инорайонный материал и коллекционные образцы из генетических коллекций селекционных учреждений, сочетая внури- и межвидовую гибридизацию. Так, сорт Дамсинская юбилейная получен путем скрещивания мексиканского сорта твердой пшеницы Sorgit 71 с яровой мягкой пшеницей Саратовская 29, а сорт Дамсинская янтарная имеет в родословной сорт мягкой пшеницы Саратовская 210. Подбор родительских пар из разных эколого-географических групп (в частности, использование сортов саратовской и омской селекции) является важным элементом в повышении урожайности и адаптивных свойств сортов твердой пшеницы. В создании сорта

Дамсинская 20-17 также использован саратовский сорт твердой пшеницы Саратовская 57 (таблица 1). Урожайность вышеперечисленных сортов в среднем за три года исследований была выше большинства изученных в конкурсном сортоиспытании сортов и линии и составила 19,9–23,9 ц/га. Сорт Дамсинская 20-17, линии 252-10-2 и 156-11-10 созданы с использованием в качестве родительских форм омских сортов твердой пшеницы Жемчужина Сибири и Омская янтарная.

За последние 20 лет селекционные усилия были направлены на повышение упругости клейковины, влияющей на конечное качество макаронных изделий при высокотемпературной сушке современного производства [16]. В наших исследованиях показатели белка составили 14,7–17,4 % и ИДК не превышали 78 ед. (таблица 3) при высоком содержании клейковины (29,5–36,9 %), что соответствует требованиям, предъявляемым к производству качественных макаронных и крупяных изделий [17].

Таблица 3  
Технологические признаки качества зерна у сортообразцов питомника КСИ, в среднем за 2021–2023 годы

Сорт, линия	Содержание белка, %	Каротиноидные пигменты, мг / 100 г	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Стекловидность, %	Содержание клейковины, %	Качество сырой клейковины, ед. ИДК	Оценка макаронных свойств, баллов
Дамсинская 90, стандарт	15,5	0,61	40,5	779	62,0	31,0	66	4,3
Дамсинская янтарная	16,8*	0,46	43,1	768	63,3	33,4	67	3,9
Корона	17,3*	0,48	43,3*	769	63,7	31,9	53	4,1
Лавина	17,4*	0,47	38,2	776	68,0*	32,5	78	3,8
Дамсинская юбилейная	17,2*	0,50	37,4	759	64,3	31,8	66	4,4
Дамсинская 20-17	16,3	0,64	40,3	786	64,3	31,5	76	4,2
Линия 252-10-2	14,9	0,56	47,3*	796*	55,0	29,5	44	–
Линия 272-08-9	14,7	0,48	39,8	778	48,7	30,3	43	–
Линия 156-11-10	16,2	0,47	43,9*	762	56,0	33,3	66	–
Линия 270-16-13	17,2*	0,44	41,0	785	55,0	36,8*	58	–
Линия 28-16-15	17,3*	0,47	36,6	783	58,3	36,9*	51	–
Среднее	16,5	0,51	41,1	776	59,9	32,6	61	4,1
НСР <sub>05</sub>	1,27	0,07	2,70	12,4	4,6	2,99	18,5	0,31

Примечание. \* Достоверное превышение над стандартом.

Table 3  
Technological grain quality traits of accessions in competitive variety trial, on average for 2021–2023

Variety, line	Protein content, %	Carotenoids content, mg / 100 g	Thousand kernel weight, g	Hectoliter weight of grain g/l	Vitreousness, %	Gluten content, %	Quality of wet gluten, units	Evaluation of pasta properties, points
Damsinskaya 90, standard	15.5	0.61	40.5	779	62.0	31.0	66	4.3
Damsinskaya yantarnaya	16.8*	0.46	43.1	768	63.3	33.4	67	3.9
Korona	17.3*	0.48	43.3*	769	63.7	31.9	53	4.1
Lavina	17.4*	0.47	38.2	776	68.0*	32.5	78	3.8
Damsinskaya yubileynaya	17.2*	0.50	37.4	759	64.3	31.8	66	4.4
Damsinskaya 20-17	16.3	0.64	40.3	786	64.3	31.5	76	4.2
Line 252-10-2	14.9	0.56	47.3*	796*	55.0	29.5	44	–
Line 272-08-9	14.7	0.48	39.8	778	48.7	30.3	43	–
Line 156-11-10	16.2	0.47	43.9*	762	56.0	33.3	66	–
Line 270-16-13	17.2*	0.44	41.0	785	55.0	36.8*	58	–
Line 28-16-15	17.3*	0.47	36.6	783	58.3	36.9*	51	–
Average	16.5	0.51	41.1	776	59.9	32.6	61	4.1
LSD <sub>05</sub>	1.27	0.07	2.70	12.4	4.6	2.99	18.5	0.31

Note. \* Reliable excess over standard.

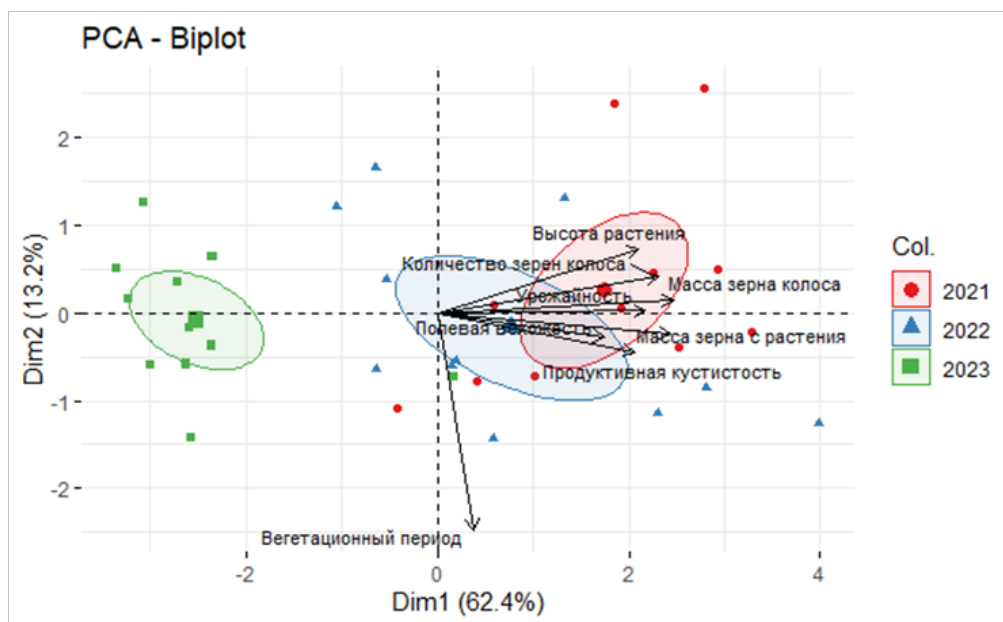


Рис. 1. Анализ главных компонент урожайности и её компонентов сортообразцов питомника КСИ, 2021–2023 годы

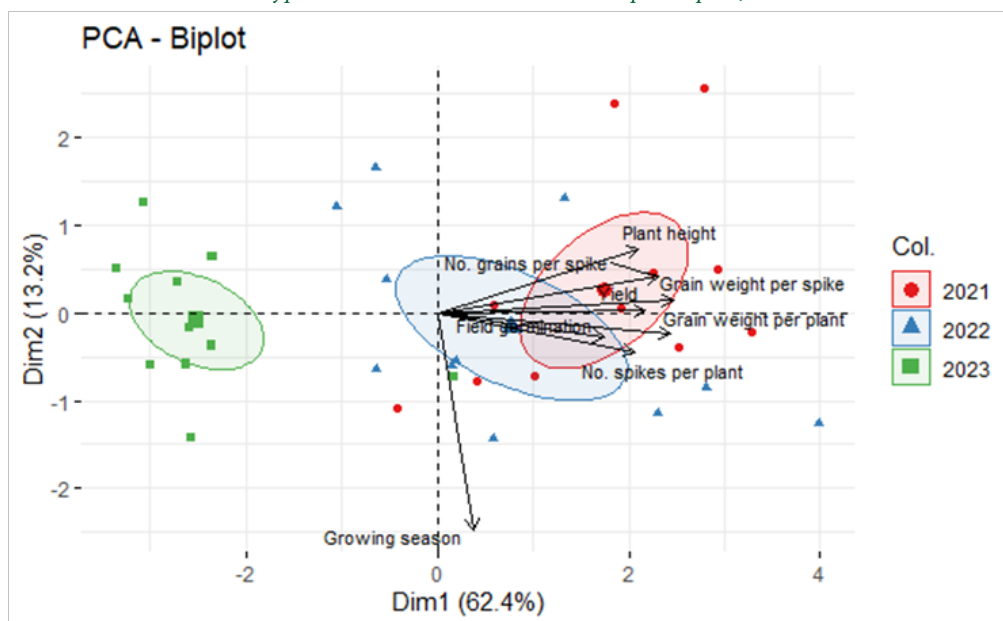


Fig. 1. Principal component analysis of yield and its components of accessions of competitive variety trial, 2021–2023

Оценка взаимосвязи изучаемых признаков имеет большое значение для повышения эффективности отбора в селекции пшеницы. Во многих исследованиях выявлена отрицательная корреляция между урожайностью и высотой растений сортов твердой пшеницы [18; 19]. В этой связи целесообразно резко сокращать высоту растения, учитывая риск снижения урожайности короткостебельных сортов твердой пшеницы, и вести отбор в условиях Северного Казахстана по основным компонентам урожайности, таким как озерненность ( $r = 0,32...0,79; p \leq 0,05$ ), продуктивность колоса ( $r = 0,37...0,79; p \leq 0,05$ ) и растения ( $r = 0,32...0,75;$

$p \leq 0,05$ ). Увеличение вегетационного периода также оказывало положительный эффект на повышение урожайности ( $r = 0,52...0,56; p \leq 0,05$ ). Отмечена отрицательная корреляция урожайности с содержанием белка ( $r = -0,25...-0,54; p \leq 0,05$ ) и качеством клейковины ( $r = -0,16...-0,26$ ) при сильном варьировании качественных показателей зерна в зависимости от погодных условий. Жесткие засушливые условия в 2023 году сказались на резкой ответной реакции изученных генотипов по урожайности и технологическим признакам зерна. Значительно меньшее влияние погодные условия в 2021–2022 годах оказали на массу 1000 зерен и содержание каротиноидных пигментов.



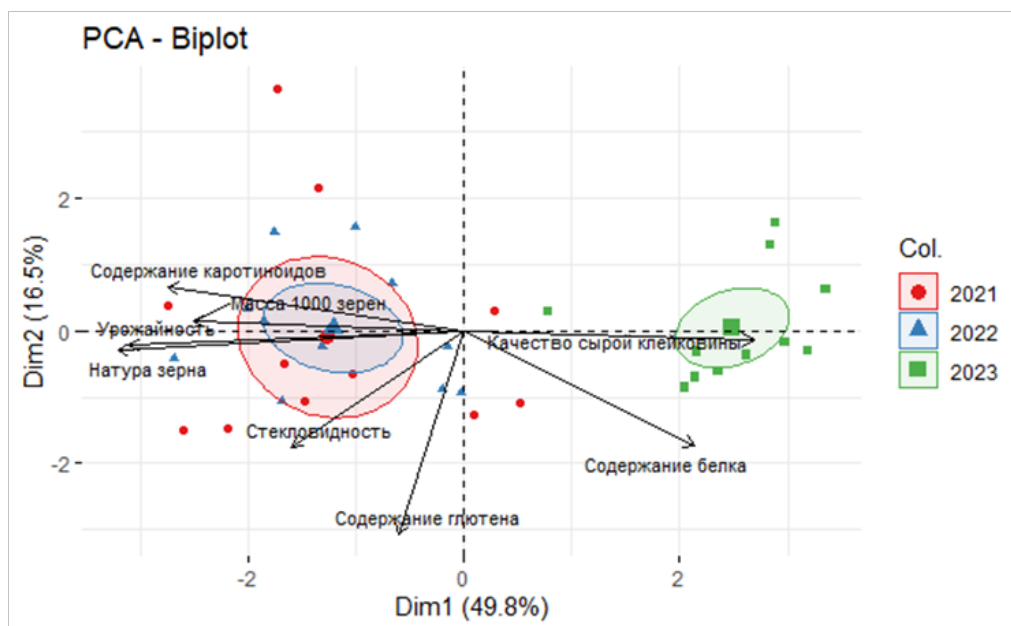


Рис. 2. Анализ главных компонент урожайности и технологических признаков зерна сортообразцов питомника КСИ, 2021–2023 годы

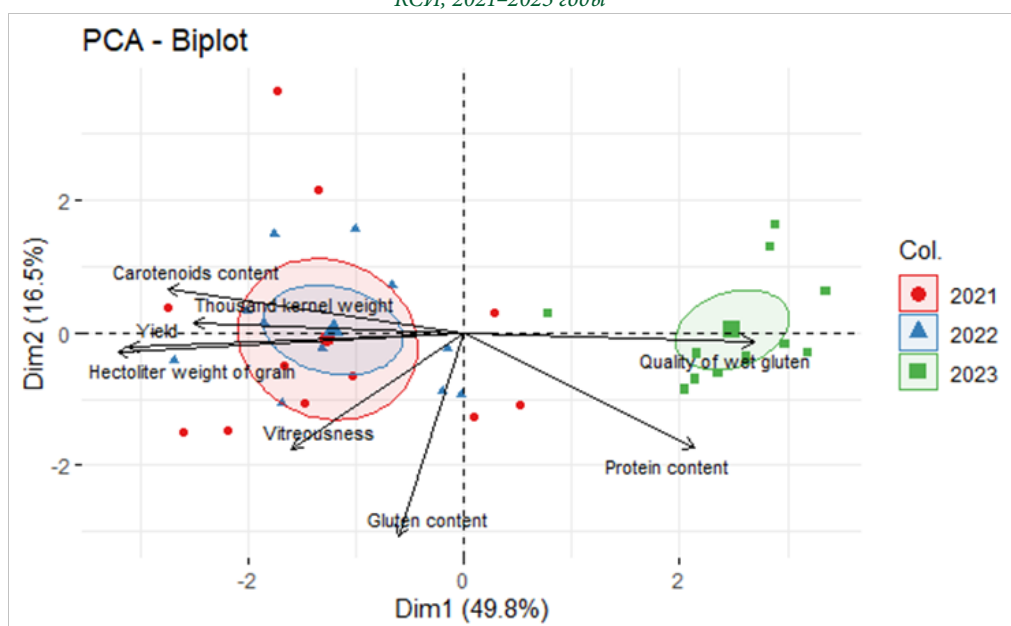


Fig. 2. Principal component analysis of yield and grain technological traits of accessions of competitive variety trial, 2021–2023

В последние десятилетия пшеница становится неустойчивой к изменениям климата, наблюдается тренд снижения урожайности и выраженности таких признаков, как содержание белка, клейковины, цвета макарон. Снижение климатической устойчивости твердой пшеницы за последние 5–15 лет в странах Северной, Центральной и Южной Европы западные ученые связывают с целенаправленной селекцией в течение XX века на создание высокопродуктивных сортов. Это привело к генетической эрозии, сужению адаптационных свойств современных сортов и нестабильности урожайности и качества зерна твердой пшеницы [18]. По данным М. Г. Евдокимова с соавторами [19], при анализе

качественных показателей сорта твердой пшеницы Алмаз за 40 лет отмечено снижение белка с 18 до 14,8 %, клейковины – с 33 до 29,8 %, природы зерна – с 800 до 754 г/л; менее вариabельными от погодных условий были качество клейковины и стекловидность зерна. Следовательно, на ближайшую перспективу стратегия селекционных программ должна быть направлена на совершенствование методов отбора, в том числе с использованием маркер-контролируемого отбора, при использовании всего потенциала генофонда твердой пшеницы.

Обобщая вышесказанное, необходимо отметить, что особенностью программ гибридизации твердой пшеницы в НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Ба-

раева является сохранение местного генофонда как основы высокой адаптивности в сочетании с ино-районным материалом из зарубежных генетических коллекций, саратовской и омской селекционных школ, а также использование близкородственного вида мягкой пшеницы. В жарких засушливых условиях Северного Казахстана первоочередной задачей является создание сортов твердой пшеницы с высокой засухоустойчивостью, широкой нормой реакции к изменениям агроклиматических факторов, стабильными показателями урожайности и качества зерна.

Для передачи на Государственное сортоиспытание и в качестве исходного материала для создания урожайных сортов твердой пшеницы с высоким качеством зерна рекомендуются линии 156-11-10, 270-16-13 и 28-16-15. Перспективные линии твердой пшеницы формировали урожайность 19,7–21,5 ц/га и отнесены к среднепоздней группе спелости (94–97 сут.). Качество зерна этих линий соответствовало требованиям, предъявляемым к производству макаронных и крупяных изделий: клейковина 1-й группы качества (51–66 ед.), содержание белка и сырой клейковины составило 16,2–17,3 % и 33,3–36,9 %.

### Библиографический список

1. Пашков С. В. Эволюция целинного земледелия Северного Казахстана: детерминанты регионального развития // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 68–89. DOI: 10.26516/2073-3402.2022.42.68.
2. Anuarbek S., Abugalieva S., Pecchioni N., Laidò G., Maccaferri M., Tuberosa R. et al. Quantitative trait loci for agronomic traits in tetraploid wheat for enhancing grain yield in Kazakhstan environments // PLoS ONE. 2020. Vol. 15 (6). Article number e0234863. DOI: 10.1371/journal.pone.0234863.
3. Tajibayev D., Mukin K., Babkenov A., Chudinov V., Dababat A.A., Jiyenbayeva K., Kenenbayev S., Savin T., Shamanin V., Tagayev K. et al. Exploring the agronomic performance and molecular characterization of diverse spring durum wheat germplasm in Kazakhstan // Agronomy. 2023. Vol. 13. Article number 1955. DOI: 10.3390/agronomy13071955.
4. Ляпунова О.А., Андреева А.С. Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181 (1). С. 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16.
5. Потоцкая И. В., Кошкин М. Н., Шпигель А. Л., Шаманин В. П. Изменчивость содержания макро- и микроэлементов в зерне твердой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023. № 2. (50). С. 58–67.
6. Сыздыкова Г. Т., Пучкова С. Ю., Айдарбекова Т. Ж., Габдулина А. И. Адаптация сортов яровой твердой пшеницы в степной зоне Акмолинской области // Аграрный вестник Урала. 2020. № 01 (192). С. 20–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-20-27.
7. Аленов Ж. Н., Билялова А. И., Малицкая Н. В., Шаканова Ш. Ш. Востребованность казахстанского зерна яровой твердой пшеницы на макаронные изделия // Сурский вестник. 2019. № 4 (8). С. 6–8.
8. Садыгова М. К., Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Кириллова Т. В., Филина Д. К. Технологический потенциал зерна яровой твердой пшеницы Саратовской селекции // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 4. С. 759–767. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-759-767.3.
9. Пахотина И. В., Колмаков Ю. В., Евдокимов М. Г. Эффективность системы оценки качества зерна твердой пшеницы // Вестник Алтайского ГАУ. 2015. № 8 (130). С. 14–18.
10. Розова М. А., Зиборов А. И., Егиазарян Е. Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твердой пшеницы на Алтае // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 9–15. DOI: 10.31857/S2500262721050021.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под ред. С. О. Скокбаева. Алматы, 2002. 378 с.
12. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Исходный материал для селекции твердой пшеницы в Среднем Поволжье // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 38–45. DOI: 10.31857/S2500262721060077.
13. Jlassi I., Vnejdj F., Saadoun M., Hajji A., Mansouri D., Ben-Attia M., El-Gazzah M., El-Bok S. SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // Molecular Biology Reports. 2021. Vol. 48. Pp. 3185–3193. DOI: 10.1007/s11033-021-06385-y.
14. Magallanes-López A. M., Ammar K., Morales-Dorantes A., González-Santoyo H., Crossa J., Guzmán C. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenin composition // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 75. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.03.005.
15. Martínez-Moreno F., Solís I., Noguero D., Blanco A., Özbek İ., Nsarellah N., Elias E., Mylonas I., Soriano J. M. Durum wheat in the Mediterranean Rim: historical evolution and genetic resources // Genetic Resources and Crop Evolution. 2020. Vol. 67. Pp. 1415–1436. DOI: 10.1007/s10722-020-00913-8.4.

16. Sarkar A., Fu B. X. Impact of quality improvement and milling innovations on durum wheat and end products // *Foods*. 2022. Vol. 11. Article number 1796. DOI: 10.3390/foods11121796.
17. Розова М. А., Зиборов А. И., Егиазарян Е. Е. Результаты изучения допущенных к использованию сортов яровой твердой пшеницы по урожайности и качеству зерна в условиях Алтайского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 7. С. 56–61. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10709.
18. Siahbidi M. M. P., Aboughadareh A. P., Tahmasebi G. R., Teymoori M., Jasemi M. Evaluation of genetic diversity and interrelationships of agro-morphological characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // *International Journal of Agriculture: Research and Review*. 2013. Vol. 3 (1). Pp. 184–194.
19. Varsha P. V., Saini P., Singh V., Yashveer S. Genetic variability of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for agro-morphological traits and their correlation and path analysis // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019. Vol. 8 (4). Pp. 2290–2294.
20. Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J., et al. Decline in climate resilience of European wheat // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. Vol. 116 (1). Pp. 123–128. DOI: 10.1073/pnas.1804387115.
21. Евдокимов М. Г., Юсов В. С., Пахотина И. В. Основные тенденции урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2021. № 4. С. 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41.

#### Об авторах:

**Руслан Сагынаевич Жылкыбаев**, заведующий лабораторией селекции яровой твердой пшеницы, НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева, Шортанды, Казахстан; ORCID 0009-0007-2972-8993.

*E-mail: gaziz-amonik@mail.ru*

**Татьяна Юрьевна Жигула**, младший научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева, Шортанды, Казахстан; ORCID 0000-0001-9033-6111.

*E-mail: tanya.zhigula@mail.ru*

**Анна Ленгардтовна Шпигель**, младший научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, Омский аграрный научный центр, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-9254-7091, AuthorID 1114962.

*E-mail: al.shpigel2032@omgau.org*

**Инна Владимировна Потоцкая**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия; ORCID 0000-0003-3574-2875, AuthorID 697003. *E-mail: iv.pototskaya@omgau.org*

#### References

1. Pashkov S. V. Evolution of virgin agriculture in Northern Kazakhstan: determinants of regional development. *Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series*. 2022; 42: 68–89. DOI: 10.26516/2073-3402.2022.42.68. (In Russ.)
2. Anuarbek S., Abugalieva S., Pecchioni N., Laidò G., Maccaferri M., Tuberosa R. et al. Quantitative trait loci for agronomic traits in tetraploid wheat for enhancing grain yield in Kazakhstan environments. *PLoS ONE*. 2020; 15 (6): e0234863. DOI: 10.1371/journal.pone.0234863.
3. Tajibayev D., Mukin K., Babkenov A., Chudinov V., Dababat A.A., Jiyenbayeva K., Kenenbayev S., Savin T., Shamanin V., Tagayev K., et al. Exploring the agronomic performance and molecular characterization of diverse spring durum wheat germplasm in Kazakhstan. *Agronomy*. 2023; 13: 1955. DOI: 10.3390/agronomy13071955.
4. Lyapunova O. A., Andreeva A. S. Cultivars and lines added to the gene pool of VIR's durum wheat collection in 2000–2019. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020; 181 (1): 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16. (In Russ.)
5. Potockaya I. V., Koshkin M. N., Shpigel A. L., Shamanin V. P. Variability of the of macro- and microelements content in the grain of durum wheat under conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2023; 2 (50): 58–67. (In Russ.)
6. Syzdykova G. T., Puchkova S. Yu., Aidarbekova T. Zh., Gabdulina A. I. Adaptation of spring durum wheat varieties in the steppe zone of Akmola region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 01 (192): 20–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-20-27. (In Russ.)
7. Alenov Zh. N., Bilyalova A. I., Malitskaya N. V., Shakanova Sh. Sh. Requirement of Kazakhstan grain of spring solid wheat for macaroni products. *Surskiy Vestnik*. 2019; 4 (8): 6–8. (In Russ.)
8. Sadigova M. K., Gaponov S. N., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Kirillova T. V., Filina D. K. Technological potential of Saratov spring durum wheat grain. *Equipment and technology of food production*. 2021; 51 (4): 759–767. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-759-767.3. (In Russ.)
9. Pakhotina I. V., Kolmakov Yu. V., Evdokimov M. G. The effectiveness of quality assessment system of durum wheat grain. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2015; 8 (130): 14–18. (In Russ.)

10. Rozova M. A., Ziborov A. I., Egiazaryan E. E. Relationships of temperature parameters of growing period and major agronomically valuable traits of spring durum wheat varieties in Altai. *Russian Agricultural Science*. 2021; 5: 9–15. DOI: 10.31857/S2500262721050021. (In Russ.)
11. Methodology of state variety testing of agricultural crops / Edited by S. O. Skokbaev. Almaty, 2002. 378 p. (In Russ.)
12. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Initial material for breeding durum wheat in the middle Volga region. *Russian Agricultural Science*. 2021; 6: 38–45. DOI: 10.31857/S2500262721060077. (In Russ.)
13. Jlassi I., Bnejdi F., Saadoun M., Hajji A., Mansouri D., Ben-Attia M., El-Gazzah M., El-Bok S. SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Molecular Biology Reports*. 2021; 48: 3185–3193. DOI: 10.1007/s11033-021-06385-y.
14. Magallanes-López A. M., Ammar K., Morales-Dorantes A., González-Santoyo H., Crossa J., Guzmán C. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition. *Journal of Cereal Science*. 2017; 75. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.03.005.
15. Martínez-Moreno F., Solís I., Noguero D., Blanco A., Özberk İ., Nsarellah N., Elias E., Mylonas I., Soriano J. M. Durum wheat in the Mediterranean Rim: historical evolution and genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020; 67: 1415–1436. DOI: 10.1007/s10722-020-00913-8.4.
16. Sarkar A., Fu B. X. Impact of quality improvement and milling innovations on durum wheat and end products. *Foods*. 2022; 11: 1796. DOI: 10.3390/foods11121796.
17. Rozova M. A., Ziborov A. I., Egiazaryan E. E. The results of the study of the yield and grain quality of spring durum wheat varieties approved for use in Russia under environment of the Altai Territory. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2020; 34 (7): 56–61. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10709. (In Russ.)
18. Siahbidi M. M. P., Aboughadareh A. P., Tahmasebi G. R., Teymoori M., Jasemi M. Evaluation of genetic diversity and interrelationships of agro-morphological characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *International Journal of Agriculture: Research and Review*. 2013; 3 (1): 184–194.
19. Varsha P. V., Saini P., Singh V., Yashveer S. Genetic variability of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for agro-morphological traits and their correlation and path analysis. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019; 8 (4): 2290–2294.
20. Kahiluoto H., Kaseva J., Balek J., et al. Decline in climate resilience of European wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. USA. 2019; 116 (1): 123–128. DOI: 10.1073/pnas.1804387115.
21. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Pakhotina I. V. The main trends in yield and quality of grain of durum spring wheat in the southern forest steppe of Western Siberia. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2021; 4: 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Ruslan S. Zhylykbaev**, head of the laboratory of spring durum wheat breeding, Scientific and Production Center of Grain Farming named after A. I. Baraev, Shortandy, Kazakhstan; ORCID 0009-0007-2972-8993.

*E-mail: gaziz-amonik@mail.ru*

**Tatyana Yu. Zhigula**, junior researcher of the laboratory of spring durum wheat breeding, Scientific and Production Center of Grain Farming named after A. I. Baraev, Shortandy, Kazakhstan; ORCID 0000-0001-9033-6111.

*E-mail: tanya.zhigula@mail.ru*

**Anna L. Shpigel**, junior researcher of the laboratory of spring durum wheat breeding, Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-9254-7091, AuthorID 1114962. *E-mail: al.shpigel2032@omgau.org*

**Inna V. Pototskaya**, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia; ORCID 0000-0003-3574-2875, AuthorID 697003.

*E-mail: iv.pototskaya@omgau.org*



## Реакция фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую обработку биопрепаратами

Л. П. Икоева

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия  
E-mail: [ikoeval@bk.ru](mailto:ikoeval@bk.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – изучение реакции фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую подкормку гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». **Методы.** Исследования проводились в течение 2021–2023 гг. по методикам, общепринятым для лесостепной зоны РСО-Алания, на опытном поле с выщелоченным среднетяжелым черноземом. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях картофеля определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 662, 644 и 440 нм. **Научная новизна.** Доказана перспективность применения в лесостепной зоне РСО-Алания на посадках картофеля гуминового препарата «Бигус, ВР» и микроудобрения «Нутривант Плюс» для повышения урожайности клубней. **Результаты.** Выявлено положительное влияние некорневой обработки биопрепаратами на содержание хлорофиллов по всем вариантам опыта. Содержание общего хлорофилла ( $a + b$ ) в зеленых листьях картофеля по всем вариантам опыта по сорту Фарн составило 49,1; 46,5 и 51,0 мг/л соответственно, что на 8,7; 6,1 и 10,7 мг/л соответственно было выше варианта без обработки биопрепаратами. Суммарное содержание хлорофиллов по сорту Невский – 28,9; 32,3 и 42,9 мг/л, что выше контроля на 3,4; 9,2 и 14 мг/л соответственно. Урожайность картофеля по сорту Фарн на опытных вариантах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га против 24,1 т/га на контроле, или в среднем на 21,6 % больше. Картофель сорта Невский по всем вариантам опыта показал урожайность от 26,8 до 30,4 т/га, превышающую контроль в среднем на 17,8 %. Наибольшая урожайность по исследуемым сортам наблюдалась при совместной обработке регулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». Выявлена достоверная средняя зависимость ( $r = 0,71$ ) между концентрацией хлорофилла  $b$  в листовых пластинках и урожайностью картофеля.

**Ключевые слова:** картофель, биопрепараты, хлорофилл, пигменты фотосинтеза, сорт Невский, сорт Фарн, урожайность

**Для цитирования:** Икоева Л. П. Реакция фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов на листовую обработку биопрепаратами // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 371–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-371-380>.

**Дата поступления статьи:** 18.08.2024, **дата рецензирования:** 26.11.2024, **дата принятия:** 20.01.2025.

## Response of photosynthetic pigments and yield of different potato varieties to foliar treatment with biopreparations

Агротехнологии

L. P. Ikoeva

North Caucasus Scientific Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – branch of the Federal Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe village, Republic of North Ossetia – Alania, Russia  
E-mail: ikoeval@bk.ru

**Abstract.** The purpose of this study is to examine the impact of leaf fertilization with humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” on the reaction of photosynthetic pigments and yield of potatoes of different varieties. The objective of this study is to examine the impact of leaf fertilization with humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” on the photosynthetic pigments and yield of potatoes of different varieties. **Methods.** The studies were conducted from 2021 to 2023 in accordance with the accepted methods for the forest-steppe zone of the Republic of North Ossetia-Alania on an experimental field with a leached, medium-wet chernozem soil. The concentration of photosynthetic pigments in potato leaves was quantified through a spectrophotometric approach, employing wavelengths of 662, 644 and 440 nm. **Scientific novelty** The potential for the use of humic preparation “Bigus, BP” and microfertilizer “Nutrivant Plus” in potato plantings in the forest-steppe zone to increase tuber yield was demonstrated. **Results.** The positive impact of a foliar treatment with a biopreparation on chlorophyll content was observed in all experimental variants. The total chlorophyll ( $a + b$ ) content in green potato leaves across all experimental variants was 49.1; 46.5 and 51.0 mg/l in the Farn variety, respectively. This was 8.7; 6.1 and 10.7 mg/l higher than the control, which received no biopreparation treatment. The total chlorophyll content of the Nevskiy variety was 28.9; 32.3 and 42.9 mg/l, which was 3.4; 9.2 and 14 mg/l higher than the control, respectively. The yield of potatoes on variety Farn on the experimental variants ranged from 28.0 to 32.6 t/ha, representing a 21.6 % increase compared to the control, which yielded 24.1 t/ha. The potato variety Nevskiy demonstrated yields ranging from 26.8 to 30.4 t/ha across all experimental variants, exceeding the control average by 17.8 %. The highest yield was observed in the joint treatment with the growth regulator “Bigus, BP”, and the microfertilizer “Nutrivant Plus”. A reliable average dependence ( $r = 0,71$ ) was revealed between the concentration of chlorophyll  $b$  in leaf plates and potato yield.

**Keywords:** potato, bio-preparations, chlorophyll, photosynthesis pigments, Nevskiy variety, Fern variety, yield

**For citation:** Ikoeva L.P. Response of photosynthetic pigments and yield of different potato varieties to foliar treatment with biopreparations. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 371–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-371-380>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 18.08.2024, **date of review:** 26.11.2024, **date of acceptance:** 20.01.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Картофель – это сельскохозяйственная культура с высокой питательной ценностью, занимающая четвертое место после пшеницы, кукурузы и риса по объему производства и потребления в мире. Его производство увеличивается благодаря высокой продуктивности и совместимости с широким диапазоном климатических условий, а также благодаря применению современных приемов агротехнологии [1–3; 6; 11; 13; 15–17].

Устойчивость растений определяется как состояние, при котором им наносится меньший ущерб по сравнению с другими растениями в аналогичных условиях окружающей среды. К показателям устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям внешней окружающей

среды можно отнести содержание в зеленых листьях биологически активных веществ (фенолов, гиббереллинов, лигнина и хлорофиллов), обусловленное сортовым признаком и зависящее от фазы развития, а также возрастного состояния растения. Информация о содержании в листьях картофеля хлорофиллов дает возможность оценить потенциальную фотохимическую активность, спрогнозировать продуктивность посевов и определить необходимость дополнительного применения средств для повышения эффективности выращивания растений [1; 3; 14; 16].

Применение инновационных агротехнологических приемов, адаптированных к особенностям и специфике возделывания картофеля, является перспективным направлением для повышения эффек-

тивности и дальнейшего развития картофелеводства в регионе [3; 6–8].

Максимальная урожайность картофеля при повышении устойчивости растений к стрессовым условиям и заболеваниям может быть достигнута при использовании листовых (некорневых) подкормок биопрепаратами (регуляторами роста растений, удобрениями) [1; 2; 6; 7; 9; 12; 13; 15; 16]. Листовые подкормки при малом расходе на единицу обрабатываемой площади активизируют деятельность вегетативной массы растений, а это положительно сказывается на урожайности [1; 3; 6; 8; 9; 13; 15; 17].

Совместное применение регулятора роста и микроудобрений, усиливая рост и развитие растения, будет способствовать улучшению качества получаемой продукции, что в целом позитивно скажется на экологической ситуации в сфере овощеводства [1; 6; 8; 9].

Цель исследования состояла в изучении реакции фотосинтетических пигментов и урожайности картофеля разных сортов в условиях лесостепной зоны РСО-Алания на некорневую обработку биорегулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс».

#### Методология и методы исследования (Methods)

Научные исследования в период с 2021 по 2023 год проводились на опытном участке СКНИ-ИГПСХ ВНИЦ РАН, расположенном в лесостепной зоне РСО-Алания, на пятипольном травопольном севообороте: клевер 1-го года – клевер 2-го года – озимая пшеница – картофель – кукуруза.

Почва опытного участка представлена среднесплошным тяжелосуглинистым выщелоченным черноземом, подстилаемым галечником, с содержанием гумуса 6,3 %. Реакция среды слабокислая (рН солевой вытяжки – 5,48 %). Выщелоченные черноземы отличаются большим содержанием валовых и до-

ступных запасов азота и фосфора. По содержанию подвижного калия почвы среднеобеспеченные [6–8].

Годы исследований отличались как по температурному режиму, так и по выпадению и распределению осадков в период вегетации (таблица 1). Для установления обеспеченности опытного участка в лесостепной зоне влагой был рассчитан гидротермический коэффициент увлажнения Г. Т. Селянинова (ГТК). По сравнению с другими годами исследования 2021 год характеризовался повышенной среднесуточной температурой воздуха и минимальным количеством выпавших осадков в период вегетации (ГТК = 0,72). В 2022 году наблюдалась оптимальная среднесуточная температура при недостаточном увлажнении (ГТК = 0,96). Метеорологические условия 2023 года характеризовались оптимальной среднесуточной температурой воздуха и хорошим увлажнением, особенно в период клубнеобразования (ГТК = 1,43).

Схема опыта:

1. Контроль – обработка водой.
2. Вариант I – листовая обработка регулятором роста «Бигус, ВР» в дозе 0,4 л/га (1 – фаза полных всходов; 2 – фаза бутонизации – начала цветения).
3. Вариант II – листовая обработка микроудобрением «Нутривант Плюс» в дозе 3 кг/га (1 – фаза смыкания ботвы; 2 – фаза бутонизации – конца цветения).
4. Вариант III – листовая обработка регулятором роста «Бигус, ВР» в дозе 0,2 л/га и микроудобрением «Нутривант Плюс» в дозе 1,5 кг/га (фаза бутонизации – цветения).

Общая площадь делянки – 25 м<sup>2</sup> (длина – 10 м, ширина – 2,5 м). Учетная площадь делянки – 9,0 м<sup>2</sup>. Боковые защитные полосы – 0,5 м, концевые – 2 м. Расположение вариантов – рендомизированное. Повторность опыта трехкратная.

Таблица 1  
Метеорологические условия периодов вегетации картофеля (2021–2023 годы)

Год	Среднесуточная температура воздуха, °С					Количество выпавших осадков, мм					ГТК
	Май	Июнь	Июль	Август	За период	Май	Июнь	Июль	Август	За период	
2021	17,5	19,9	22,6	23,0	20,75	77	165	149	56	111,75	0,72
2022	13,1	20,0	21,0	23,3	19,35	182	144	85	73	121	0,96
2023	14,6	18,9	21,5	23,9	19,73	161	186	153	51	137,75	1,43
За период	15,07	19,61	21,7	23,4	19,94	140	165	129	60	123,5	

Table 1  
Meteorological conditions of potato growing seasons (2021–2023)

Year	Average daily air temperature, °C					Rainfall, mm					HTC
	May	June	July	August	For period	May	June	July	August	For period	
2021	17.5	19.9	22.6	23.0	20.75	77	165	149	56	111.75	0.72
2022	13.1	20.0	21.0	23.3	19.35	182	144	85	73	121	0.96
2023	14.6	18.9	21.5	23.9	19.73	161	186	153	51	137.75	1.43
For period	15.07	19.61	21.7	23.4	19.94	140	165	129	60	123.5	

Агротехника, применяемая в опыте, рекомендована для лесостепной зоны РСО-Алания [6; 7]. Посадку проводили в первой декаде апреля: ширина междурядий – 70 см, густота посадки – 57 тыс/га, глубина заделки клубней – 6–8 см, длина между кустами – 25 см. Минеральные удобрения в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  перед посадкой вразброс с последующей заделкой. Уход за посадками картофеля включал две междурядные обработки, окучивание, обработку при необходимости против колорадского жука и фитофторозы. Внекорневая обработка растений биопрепаратами проводилась ранцевым опрыскивателем в соответствии со схемой опыта.

Предмет исследования – картофель среднеранних сортов, районированных по Северо-Кавказскому региону: Невский (Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»), Фарн (Горский государственный аграрный университет).

Картофель сорта Фарн местной селекции – среднеранний гибрид, высокоустойчивый к морщинистой полосчатой мозаике, золотистой картофельной нематоде, раку и скручиванию листьев. Умеренно устойчив к возбудителю фитофтороза ботвы и клубней картофеля. Высокоурожайный сорт (26,6 т/га). Неприхотлив к климатическим условиям и агротехническим приемам [8].

Картофель сорта Невский – среднеранний гибрид. Сорт устойчив к таким болезням картофеля, как ризиктониоз, рак, черная ножка. Среднеустойчив к парше обыкновенной, вирусам X, S, M, фитофторозу по ботве и клубням картофеля. Восприимчив к золотистой картофельной нематоде. Высокоурожайный сорт (38,5 т/га), при этом нетребователен к агротехническим приемам [8].

Объекты исследования – биопрепарат «Бигус, ВР» и микроудобрение «Нутривант Плюс».

«Бигус, ВР» – регулятор роста, созданный на основе сапропеля, содержащего калиевые соли гуминовых кислот. Полиморфность структуры гуминовых кислот обеспечивает разнообразное положительное воздействие на растения и почву. Благодаря способности гуминовых кислот к образованию хелатных комплексов снижаются активность ингибиторов роста и солевой стресс, повышаются поглощение растениями питательных веществ, эффективность фотосинтеза и урожайность [9; 13, 17]. Они содержат широкий комплекс как минеральных веществ (макро- и микроэлементов: калия, фосфора, азота, бора, серы, молибдена, меди и т. д.), так и органических веществ (фульвовых кислот, катехинов, полифенолов, изофлавоноидов, полисахаридов, дубильных веществ и т. д.). Важным ингредиентом гуматов является органический кремний, выступающий катализатором многих круговоротов веществ внутри клетки. Выступая как естественные детоксиканты и адаптогены, гуматы поддержи-

вают химический баланс в растительном организме [9; 17].

Рабочий раствор препарата готовится по методике, заявленной производителем, непосредственно перед опрыскиванием.

«Нутривант Плюс» – микроудобрение, используемое для внекорневой листовой подкормки картофеля. Химический состав его представлен макроэлементами (K, N, P) и микроэлементами (S, B, Mg, Mn, Cu, Fe, Mo, Zn). «Нутривант Плюс» способствует улучшению цветения, стимулирует генеративный рост и развитие растений, а также, что крайне важно, снижает содержание нитратов в продукции.

Рабочий раствор удобрения «Нутривант Плюс» готовится непосредственно в расходном баке опрыскивателя / системы капельного орошения. Бак наполняется водой не менее чем на 3/4, и вводится доза микроудобрения. Полученный раствор перемешивают, а затем водой доводят до нормы и приступают к работе. Рабочий раствор должен быть израсходован в течение 6 часов. Опрыскивание раствором проводят утром или вечером по сухим растениям в теплую пасмурную сухую погоду.

Для определения содержания фотосинтетических пигментов отбор высечек из листьев проводился в фазу цветения. Измерение фотосинтетических пигментов, таких как хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды, проводили с использованием метода Лихтеналера [5]. 1 г свежих листьев каждого образца измельчали, после чего растирали в ступке пестиком с мелом и стеклом. После измельчения добавляли 20 мл 100-процентного ацетона и оставляли образец до тех пор, пока оставшийся осадок не приобретет бледный цвет. Экстракт отфильтровали с помощью фильтровальной бумаги, чтобы отделить экстракт хлорофиллов и каротиноидов от остальной части листьев.

Оптическую плотность хлорофиллов и каротиноидов в ацетоновых экстрактах из листьев картофеля при длинах волн 662, 644 и 640 нм измеряли на спектрофотометре «ПЭ – 5400 УФ». Измерение максимумов поглощения фотосинтетических пигментов проводили в трехкратной повторности.

Для градуировки прибора применяли холостой раствор (100-процентный ацетон).

Для расчета в ацетоновых вытяжках содержания фотосинтетических пигментов применялись уравнения Хольма – Веттштейна [9]:

$$\begin{aligned} C_{\text{хл. } a} &= 9,784 \cdot D_{662} - 0,990 \cdot D_{644}, \\ C_{\text{хл. } b} &= 21,426 \cdot D_{644} - 4,650 \cdot D_{662}, \\ C_{\text{хл. } a + \text{хл. } b} &= 5,134 \cdot D_{662} + 20,436 \cdot D_{644}, \\ C_{\text{кар. } a} &= 4,695 \cdot D_{440} - 0,268 \cdot (5,134 \cdot D_{662} + \\ & 20,436 \cdot D_{644}), \end{aligned}$$

где  $C_{\text{хл. } a}$  – содержание хлорофилла *a*, мг/л;

$C_{\text{хл. } b}$  – содержания хлорофилла *b*, мг/л;

$C_{\text{хл. } a + \text{хл. } b}$  – содержание суммы хлорофиллов, мг/л;

$C_{\text{кар. } a}$  – содержание каротиноидов, мг/л.



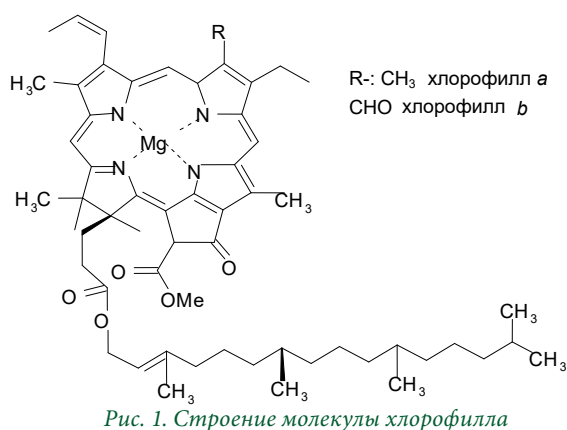


Рис. 1. Структура молекулы хлорофилла

Учеты и наблюдения в опытах осуществляли согласно методике ВНИИ картофельного хозяйства [10]. Достоверность научных положений, сформулированных в работе, подтверждается экспериментальными исследованиями и статистической обработкой по методике Б. А. Доспехова [4] с использованием компьютерных программ Microsoft Excel, SNEDECOR. Расчет вероятности значимых различий проводился при уровне  $P < 0,05$ .

### Результаты (Results)

Фотосинтез является главным двигателем, способствующим глобальным потокам энергии и вещества в биосфере. Интенсивность фотосинтеза и общая биологическая продуктивность растений определяется содержанием в листьях фотосинтетических пигментов [5; 6; 14].

Хлорофилл – это сложный эфир дикарбоновой кислоты хлорофиллина и двух спиртов – фитола и метанола. Структура хлорофилла *a* содержит метильную группу во втором пиррольном кольце, а структуры *b* – альдегидную группу (рис. 1). Необходимо отметить, что содержание в листьях хлорофилла играет ключевую роль в фотосинтезе.

Основным биохимическим показателем реакции растений на стрессовые условия окружающей среды (загрязнение воздуха, воды, дефицит воды, высокие и низкие температуры) является содержание хлорофиллов [1]. Общее количество хлорофилла в здоровых зеленых листьях, обусловленное балансом скоростей образования и разрушения пигментов, составляет 1 % от сухого веса.

Процессы образования и разрушения пигментов в период вегетации влияют на колебания концентрации хлорофиллов и каротиноидов в листьях картофеля. Так, в фазу всходов растения листья картофеля характеризуются минимальным содержанием хлорофиллов, постепенно возрастающим по мере роста растений и достигающим максимума к фазе бутонизации – цветения (наиболее продуктивный период), снижающимся к фазе увядания ботвы. Количество же каротиноидов, наоборот, постепенно увеличивается по фазам вегетации.

В результате проведенных исследований было установлено, что накопление максимального со-

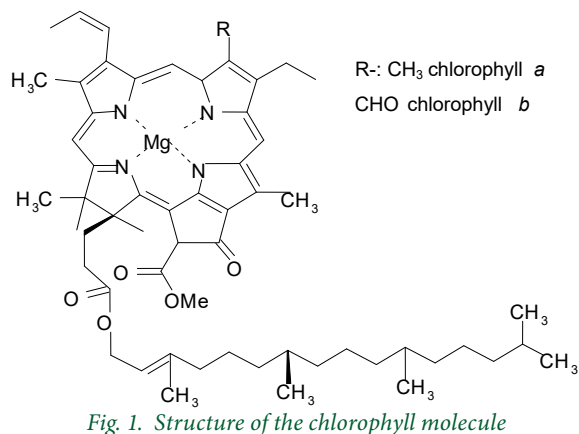


Fig. 1. Structure of the chlorophyll molecule

держания фотосинтетических пигментов в фазу цветения в листьях зависит не только от сортовых особенностей картофеля, но и от применяемых биопрепаратов (рис. 2).

Изменение содержания хлорофиллов в листьях разных сортов картофеля по фазам вегетации до фазы массового цветения носит линейный характер.

Анализ гистограммы (рис. 2) демонстрирует, что содержание суммы хлорофиллов в зеленых листьях адаптированного к условиям произрастания в лесостепной зоне региона картофеля сорта Фарн превышало показатели районированного сорта Невский как на контрольном варианте, так и в опытных вариантах, на 11,3; 16,8; 8,4 и 8,1 мг/л соответственно.

На варианте листовой обработки регулятором роста «Бигус, ВР» посевов картофеля отмечалось повышение содержания суммы хлорофиллов для сорта Фарн на 9,0 мг/л; сорта Невский – на 3,4 мг/л, или на 1,22 % и 1,12 % соответственно, по отношению к контролю. Это связано с элиситорным эффектом биопрепарата, позволяющим повысить сопротивляемость не только листьев, но и в целом растения к стрессовым факторам и болезням. На варианте с микроудобрением «Нутривант Плюс» также отмечено повышение концентрации фотосинтетических пигментов в листьях по сравнению с контролем по сорту Фарн – на 6,4 мг/л, или на 1,16 %; по сорту Невский – на 9,2 мг/л, или на 1,3 %. Комплексная обработка биопрепаратами «Бигус, ВР» и «Нутривант Плюс» повышает суммарное содержание хлорофиллов (*a* + *b*) на посевах изучаемых сортов по отношению как к контролю, так и к опытным вариантам. Сорт Фарн по сравнению с контролем демонстрирует увеличение на 9,9 мг/л, или на 1,27 %, а сорт Невский – на 14,0 мг/л, или 1,48 %.

Результаты полевого эксперимента согласуются с исследованиями ряда авторов [9; 11; 13; 16; 17], что калиевые соли гуминовых кислот улучшают синтез ион-транспортирующих белков и, таким образом, увеличивают скорость поглощения и питательных веществ и повышают урожайность растений за счет образования стабильных комплексов с железом и цинком.

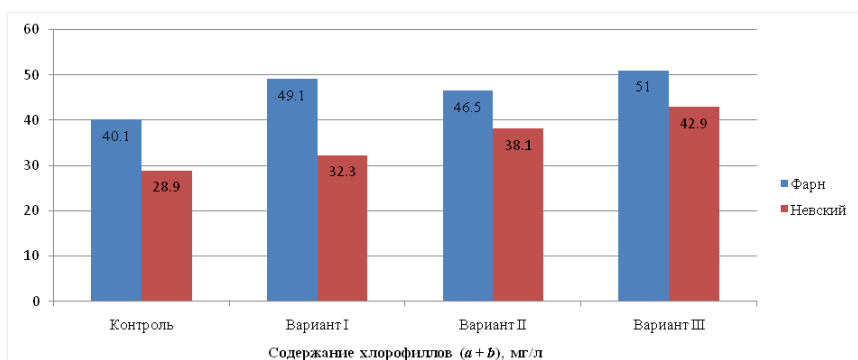


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (a + b) в зеленых листьях картофеля по сортам (2021–2023 годы)

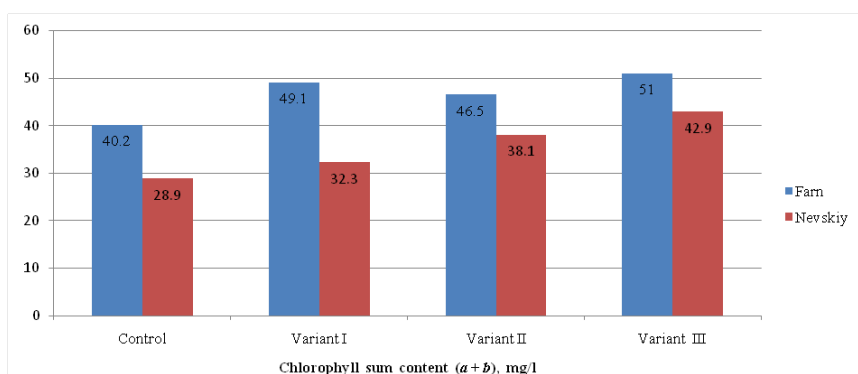


Fig. 2. Contents of the chlorophylls (a + b) in green potato leaf of by varieties (2021–2023)

Таблица 2  
Содержание хлорофиллов в зеленых листьях картофеля исследуемых сортов (2021–2023 годы)

Варианты опыта	$C_{chl. a + chl. b}$ , мг/л	$C_{chl. a}$ , мг/л	$C_{chl. b}$ , мг/л	$C_{кар.}$ , мг/л	$A_a$ , мг/г	$A_b$ , мг/г	$A_{кар.}$ , мг/г	$S_l$ , см <sup>2</sup>	$B$ , мг/см <sup>2</sup>
<b>Фарн</b>									
Контроль	40,162	26,719	13,643	3,726	1,336	0,682	0,186	10,11	0,107
I	49,089	26,939	22,160	3,845	1,347	1,108	0,192	10,23	0,120
II	46,468	27,415	19,053	3,789	1,372	0,953	0,189	10,22	0,114
III	51,011	26,916	24,095	3,987	1,346	1,205	0,199	10,56	0,121
<b>Невский</b>									
Контроль	28,914	20,534	8,38	1,544	1,027	0,419	0,077	10,66	0,068
I	32,263	22,251	10,012	1,701	1,123	0,501	0,085	10,78	0,015
II	38,063	25,134	13,929	1,599	1,257	0,697	0,080	10,66	0,092
III	42,888	27,481	15,407	1,820	1,374	0,770	0,91	11,00	0,098

Примечание.  $C_{chl. a + chl. b}$  – содержание суммы хлорофиллов;  $C_{chl. a}$  – содержание хлорофилла a;  $C_{chl. b}$  – содержание хлорофилла b;  $C_{кар.}$  – содержание каротиноидов;  $A_a$  – содержание хлорофилла a на 1 г сырой массы;  $A_b$  – содержание хлорофилла b на 1 г сырой массы;  $A_{кар.}$  – содержание каротиноидов на 1 г сырой массы;  $S_l$  – площадь листа;  $B$  – количество хлорофиллов в листовой пластинке.

Table 2  
Chlorophyll content in green leaves of potato varieties studied (2021–2023)

Experience options	$C_{chl. a + chl. b}$ , mg/l	$C_{chl. a}$ , mg/l	$C_{chl. b}$ , mg/l	$C_{car.}$ , mg/l	$A_a$ , mg/g	$A_b$ , mg/g	$A_{car.}$ , mg/g	$S_l$ , cm <sup>2</sup>	$B$ , mg/cm <sup>2</sup>
<b>Farn</b>									
Control	40.162	26.719	13.643	3.726	1.336	0.682	0.186	10.11	0.107
I	49.089	26.939	22.160	3.845	1.347	1.108	0.192	10.23	0.120
II	46.468	27.415	19.053	3.789	1.372	0.953	0.189	10.22	0.114
III	51.011	26.916	24.095	3.987	1.346	1.205	0.199	10.56	0.121
<b>Nevskiy</b>									
Control	28.914	20.534	8.38	1.544	1.027	0.419	0.077	10.66	0.068
I	32.263	22.251	10.012	1.701	1.123	0.501	0.085	10.78	0.015
II	38.063	25.134	13.929	1.599	1.257	0.697	0.080	10.66	0.092
III	42.888	27.481	15.407	1.820	1.374	0.770	0.91	11.00	0.098

Note.  $C_{chl. a + chl. b}$  – chlorophyll sum content;  $C_{chl. a}$  – chlorophyll a content;  $C_{chl. b}$  – chlorophyll b content;  $A_a$  – content of chlorophyll a per 1 g of crude mass;  $A_b$  – content of chlorophyll b per 1 g of crude mass;  $A_{car.}$  – content of chlorophyll b per 1 g of crude mass;  $S_l$  – leaf area;  $B$  – content of chlorophylls in the leaf blade.

## Зависимость урожайности и содержания фотосинтетических пигментов в листьях картофеля разных сортов от применения биопрепаратов (2021–2023 годы)

Варианты опыта	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/г сухой массы			Урожайность, т/га
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	
<b>Фарн</b>				
Контроль	0,99	0,69	0,27	24,1
I	1,04	0,75	0,29	28,0
II	1,01	0,68	0,30	27,3
III	1,06	0,72	0,28	32,6
HCP <sub>05</sub>				6,4
<b>Невский</b>				
Контроль	0,71	0,51	0,18	23,6
I	0,89	0,57	0,23	26,8
II	0,73	0,53	0,25	26,2
III	0,99	0,55	0,2	30,4
HCP <sub>05</sub>				5,8

Table 3  
*Dependence of yield and content of photosynthetic pigments in leaves of different potato varieties on the use of biopreparations (2021–2023)*

Experience options	Photosynthetic pigment content, mg/g dry weight			Yield, t/ha
	Chlorophyll <i>a</i>	Chlorophyll <i>b</i>	Carotenoids	
<b>Farn</b>				
Control	0.99	0.69	0.27	24.1
I	1.04	0.75	0.29	28.0
II	1.01	0.68	0.30	27.3
III	1.06	0.72	0.28	32.6
LSD <sub>05</sub>				6.4
<b>Nevskiy</b>				
Control	0.71	0.51	0.18	23.6
I	0.89	0.57	0.23	26.8
II	0.73	0.53	0.25	26.2
III	0.99	0.55	0.2	30.4
LSD <sub>05</sub>				5.8

Некорневая обработка гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» сказывалась и на отношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*.

В листьях картофеля сортов Фарн и Невский отношение содержания хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (таблица 2) увеличивается по вариантам опыта с применением гуминового препарата и микроудобрения, возможно, является следствием образования в значительной степени пигмент-белковых комплексов фотосистемы I и фотосистемы II, а не светособирающих комплексов.

Было выявлено, что существует прочная связь между содержанием хлорофиллов в листьях и содержанием крахмала в клубнях, которое может достигать 6,6 %. Крахмальные зерна имели средний размер от 69 до 93,7 мкм. Так, содержание крахмала в клубнях сорта Невский достигало 13 %, а размеры крахмальных зерен колебались от 59 до 87 мкм.

Урожайность – это показатель приспособленности культурного растения к агроэкологическим факторам выращивания (недостаток влаги, высокая температура).

В среднем содержание хлорофилла *a* на всех вариантах эксперимента составляло для сорта Фарн – 1,03 мг/г сухой массы, колеблется относительно контроля в пределах от 1,01 до 1,06 мг/г; для сорта Невский – 0,87 мг/г, колеблется в пределах от 0,73 до 0,99 мг/г. Максимальное содержание пигмента наблюдалось при комбинированном применении гуминового препарата «Бигус, ВР» и микроудобрения «Нутривант Плюс» в фазу бутонизации – цветения по сорту Фарн – 1,06 мг/г, а по сорту Невский – 0,99 мг/г (таблица 3).

Средняя концентрация хлорофилла *b* была у сорта Фарн (0,72 мг/г) и варьировала в пределах 0,69–0,72 мг/г, а у сорта Невский – 0,55 мг/г сухой массы и варьировала в пределах 0,53–0,57 мг/г по сравнению с контролем.

Как известно, окраска мякоти клубней картофеля определяется содержанием каротиноидов. Так, для клубней с мякотью белого цвета характерно низкое, желтого цвета – среднее, а оранжевого цвета – высокое содержание каротиноидов. В клубнях картофеля сорта Фарн отмечено превышение общего содержания каротиноидов на 1,1; 0,06; 0,05; 0,08

мг/г сухой массы по сравнению с клубнями картофеля сорта Невский как по контролю, так и по всем вариантам опыта.

Увеличение содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в период бутонизации – цветения было вызвано листовой обработкой картофеля биопрепаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» (таблица 2), что привело к повышению урожайности по всем вариантам опыта по отношению к контролю для обоих сортов. Урожайность сорта Фарн в опытах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га, в то время как контроль составил 24,1 т/га, что на 21,6 % больше. Сорт картофеля Невский по всем вариантам опыта от 26,8 до 30,4 т/га против 23,6 т/га в контроле, или в среднем на 17,8 % больше.

Анализ корреляционных связей между содержанием пигментов, участвующих в фотосинтезе, в листовых пластинках и урожайностью картофеля различных сортов выявил достоверную среднюю зависимость. Коэффициент корреляции составил 0,71. Не установлено достоверных корреляционных зависимостей между урожайностью – концентрацией хлорофилла *a* ( $r_{\text{хл. } a} = 0,27$ ) и урожайностью – концентрацией каротиноидов ( $r_{\text{кар.}} = 0,32$ ).

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

1. Выявлена положительная реакция фотосинтетических пигментов и урожайности на листовую обработку биопрепаратами растений картофеля сорта Фарн местной селекции и сорта Невский на опытном поле СКНИИГПСХ в агроэкологических условиях РСО-Алания.

2. Содержание общего хлорофилла (*a* + *b*) в зеленых листьях картофеля по вариантам опыта по сорту Фарн составило 49,1; 46,5 и 51,0 мг/л, а по сорту Невский – 28,9; 32,3 и 42,9 мг/л, что выше

на 1,22 % и 1,12 % соответственно без обработки биопрепаратами.

3. Урожайность картофеля по сорту Фарн на опытных вариантах варьировала от 28,0 до 32,6 т/га против 24,1 т/га на контроле, или в среднем на 21,6 % больше. А на сорте картофеля Невский по всем вариантам опыта – от 26,8 до 30,4 т/га против 23,6 т/га в контроле, или в среднем на 17,8 % больше. Наибольшая урожайность по исследуемым сортам наблюдалась при совместной обработке регулятором роста «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс» по сравнению с другими опытными вариантами и контролем.

4. Между концентрацией хлорофилла в листовых пластинах исследуемых сортов картофеля и урожайностью была выявлена положительная зависимость ( $r = 0,71$ ) и положительная тенденция к высокой концентрации хлорофилла *a* у сортов при обработке гуминовым препаратом «Бигус, ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс».

5. В результате проведенных исследований было доказано, что гуминовый препарат «Бигус, ВР» и микроудобрение «Нутривант Плюс» могут повышать общий уровень хлорофилла и урожайность растений картофеля разных сортов в условиях лесостепной зоны РСО-Алания.

6. Наиболее полно биологические свойства картофеля сортов Фарн и Невский проявились на вариантах при комплексной листовой обработке регулятором роста «Бигус ВР» и микроудобрением «Нутривант Плюс». Картофель сорта Фарн местной селекции, адаптированный к климатическим условиям региона, гарантированно обеспечивал урожайность при разных метеорологических условиях по всем вариантам опыта.

#### Библиографический список

1. Бакунов А. Л., Милехин А. В. Рубцов С. Л., Шевченко С. Н. Содержание фотосинтетических пигментов как косвенный признак устойчивости сортов картофеля к высоким температурам воздуха и недостаточному увлажнению // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 8–13. DOI: 10.12737/37332.
2. Васильев А. А., Горбунов А. К. Продуктивность и фотосинтетическая деятельность картофеля в зависимости от срока и глубины посадки // Аграрный вестник Урала. 2020. № 04 (195). С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-2-10.
3. Варушкина А. М., Луговская Н. А., Максимов А. Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 37–46. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.4.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований (5 изд.). Москва: Альянс, 2014. 351 с.
5. Епринцев А. Т., Хожайнова Г. Н. Малый практикум по физиологии растений. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. 174 с.
6. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Влияние регулятора роста «Регоплант» и микроудобрения «Ультрамаг Комби» на фотосинтетическую деятельность картофеля в лесостепной зоне РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2021. № 07 (210). С. 55–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65
7. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Фотосинтетическая деятельность картофеля в зависимости от способов применения стимулятора роста в предгорной зоне РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2022. № 07 (222). С. 26–35. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-26-35.



8. Икоева Л. П., Хаева О. Э. Количественные и качественные показатели разных сортов картофеля в зависимости от применения биопрепарата // *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23, № 11. С. 22–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-22-33.

9. Ляшко М. У., Цветкова Ю. В., Гресис В. О. Влияние гуминовых препаратов на содержание хлорофилла в листьях и урожайность картофеля в условиях Московской области // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротехнологии и животноводство*. 2018. Т. 13, № 2. С. 85–92. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-2-85-92.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть. Москва: Госорткомиссия, 2019. 329 с.

11. Пронько В. В., Корсаков К. В., Верховцева Н. В., Пронько Н. А. Влияние листовых подкормок гуминовыми удобрениями на урожайность и качество орошаемого картофеля в Саратовском Заволжье // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 6. С. 58–63. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp58-63.

12. Сердеров В. К., Караев М. К., Атамов Б. К. Возделывание сортов картофеля для промышленной переработки // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 3. С. 59–61. DOI: 10.30850/vrnsn/2020/3/59-61.

13. Усанова З. И., Прядеин С. Е. Влияние гуминовых препаратов на продуктивность и качество урожая сортов картофеля с фиолетовой мякотью клубней // *Картофель и овощи*. 2020. № 6. С. 27–31. DOI: 10.25630/PAV.2020.73.35.004.

14. Уромова И. П., Козлов А. В. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество картофеля // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 5. С. 77–81.

15. Chen C.-T., Setter T. L. Role of tuber developmental processes in response of potato to high temperature and elevated CO<sub>2</sub> // *Plants*. 2021. No. 10. Article number 871. DOI: 10.3390/plants10050871.

16. Ginter A., Zarzecka K., Gugala M. Effect of Herbicide and Biostimulants on Production and Economic Results of Edible Potato // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Article number 1409. DOI: 10.3390/agronomy12061409.

17. Mijwel Kh., Abed Al-Aedha A. N., Bresim T. H. Effect of compost and humic acid on potato growth and quality // *Engineering and Technology Journal*. 2019. Vol. 37, Part C, No. 1. Pp. 145–148. DOI: 10.30684/etj.37.1C.23.

#### Об авторе:

**Лариса Петровна Икоева**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела адаптивно-ландшафтного земледелия, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия; ORCID 0000-0003-1737-3180, AuthorID 508900. E-mail: ikoeval@bk.ru

#### References

1. Bakunov A. L., Milekhin A. V., Rubtsov S. I., Shevchenko S. N. Photosynthetic pigment content as a consequential resistance sing of potato varieties to high temperature and moisture lack. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020; 2: 8–13. DOI: <https://doi.org/10.12737/37332>. (In Russ.)

2. Vasilyev A. A., Gorbunov A. K. Productivity and photosynthetic activity of potatoes depending on the duration and depth of planting. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 04 (195): 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-195-4-2-10. (In Russ.)

3. Varushkina A., Lugovskaya N., Maksimov A. The growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in photoculture. *Perm Federal Research Centre Journal*. 2019; 2: 37–46. DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>. (In Russ.)

4. Dospikhov B. A. Methodology of field experiment with the basics of statistical processing of research results (5th edition). Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russ.)

5. Eprintsev A. T., Khozhainova G. N. *Small workshop on plant physiology*. Voronezh: Publishing House VSU, 2018. 174 p. (In Russ.)

6. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Influence of the growth regulator “Regoplant” and microfertilizer “Ultramag Kombi” on photosynthetic activity of potatoes in the forest-steppe zone Republic of North Ossetia-Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 07 (210): 55–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65. (In Russ.)

7. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Photosynthetic activity of potatoes depending on the methods of using a growth stimulator in the foothill zone of the Republic of North Ossetia-Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 07 (222): 26–35. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-26-35. (In Russ.)

8. Ikoeva L. P., Khaeva O. E. Quantitative and qualitative indicators of different potato varieties depending on the use of the biological preparation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (11): 22–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-11-22-33. (In Russ.)
9. Lyashko M. U., Tsvetkova U. V., Gressis V. O. Effect of humus preparations on chlorophyll content in leave and potato plant productivity on sandy soil in Moscow district. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018; 13 (2): 85–92. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-2-85-92. (In Russ.)
10. Methods of state variety testing of crops. Issue 1. The general part. Moscow: Gossortkomissiya, 2019. 329 p. (In Russ.)
11. Pronko V. V., Korsakov K. V., Verkhovtseva N. V., Pronko N. A. The influence of foliar treatment with fertilizers based on humic acids on the yield and quality of irrigated potatoes in Saratov Zavolzhye. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; 6: 58–63. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp58-63. (In Russ.)
12. Serderov V. K., Karaev M. K., Atamov B. K. Potatoes varieties cultivation for industrial processing. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020; 3: 59–61. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/59-61. (In Russ.)
13. Usanova Z. I., Pryadein S. E. The effect of humic preparations on the productivity and quality of the crop of potato varieties with purple pulp of tubers. *Potato and Vegetables*. 2020; 6: 27–31. DOI: 10.25630/PAV.2020.73.35.004. (In Russ.)
14. Uromova I. P., Kozlov A. V. The influence of biologics on potato productivity and quality. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020; 5: 77–81. (In Russ.)
15. Chen C.-T., Setter T. L. Role of tuber developmental processes in response of potato to high temperature and elevated CO<sub>2</sub>. *Plants*. 2021; 10: 871. DOI: 10.3390/plants10050871.
16. Ginter A., Zarzecka K., Gugała M. Effect of Herbicide and Biostimulants on Production and Economic Results of Edible Potato. *Agronomy*. 2022; 12: 1409. DOI: 10.3390/agronomy12061409.
17. Mijwel Kh., Abed Al-Aedha A. N., Bresim T. H. Effect of compost and humic acid on potato growth and quality. *Engineering and Technology Journal*. 2019; 37 C (1): 145–148. DOI: 10.30684/etj.37.1C.23.

**Author's information:**

**Larisa P. Ikoeva**, candidate of agricultural sciences, department of adaptive landscape agriculture, North Caucasus Scientific Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – branch of the Federal Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe village, Republic of North Ossetia – Alania, Russia; ORCID 0000-0003-1737-3180, AuthorID 508900. *E-mail: ikoeval@bk.ru.*

## Анализ состояния производства плодово-ягодной продукции

А. М. Ленточкин<sup>✉</sup>, А. В. Никитина, Т. Г. Леконцева

Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: lenalmih@mail.ru

**Аннотация.** При неуклонном увеличении численности населения в мире растет и потребность в продуктах питания, в том числе в плодах и ягодах. В этих условиях Российская Федерация, имея необходимые природные условия для существенного увеличения насаждений плодовых и ягодных культур, повышения урожайности и валовых сборов, остается крупным импортером плодово-ягодной продукции, в том числе той, которая могла успешно выращиваться в стране. **Цель исследований** – оценка состояния и установление закономерностей динамики показателей производства плодово-ягодной продукции. **Методы.** В ходе выполнения исследований были использованы методы систематизации, сравнения и анализа статистических данных площадей многолетних насаждений, урожайности и валовых сборов плодовой и ягодной продукции, опубликованных Госкомстатом, Eurostat, FAO. **Результаты.** На основании проведенного анализа было выявлено, что производство плодово-ягодной продукции в России в последние годы увеличивается, средняя урожайность достигла 10–12 т/га, что обеспечило плодами и ягодами на душу среднестатистического россиянина в 2021 году на уровне 33 кг, но это было значительно меньше, чем в других странах мира. Анализ показывает, что большая часть площадей выращиваемых плодовых и ягодных культур в Российской Федерации приходится на хозяйства населения – 62 %. Отсутствие отлаженного рынка сбыта скоропортящейся плодово-ягодной продукции и необходимой материальной базы для ее хранения и переработки тормозят инвесторов вкладывать средства в дорогостоящие проекты товарного производства этой рискованной продукции, затягивают переход на современные интенсивные сорта и интенсивные технологии выращивания плодовых и ягодных культур, затрудняют решение проблемы по импортозамещению и выполнению задачи Доктрины продовольственной безопасности по достижению уровня самообеспечения фруктами и ягодами не менее 60 %. **Научная новизна.** На основании последних статистических данных России, стран ЕС и мира дана оценка состояния производства плодово-ягодной продукции и определен уровень достижения продовольственной безопасности страны по этому показателю.

**Ключевые слова:** пловодство, яговодство, площадь насаждений, урожайность, валовой сбор, продовольственная безопасность.

**Для цитирования:** Ленточкин А. М., Никитина А. В., Леконцева Т. Г. Анализ состояния производства плодово-ягодной продукции // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-381-391>.

**Дата поступления статьи:** 09.06.2024, **дата рецензирования:** 05.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

## Analysis of production status fruit and berry products

А. М. Lentochkin<sup>✉</sup>, А. V. Nikitina, T. G. Lekontseva

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: lenalmih@mail.ru

**Abstract.** The world population is constantly increasing and at the same time the need for food products, including fruit and berry products, is increasing. The Russian Federation has the necessary natural conditions for a significant increase perennial plantings of fruit and berry crops, increasing yields and gross yields. But Russia remains a major importer of fruit and berry products, including those that could be successfully grown and exported to other countries. **The purpose** of the research is to assess the state and establish regularities of the dynamics of indicators

of the production of fruit and berry products. **Methods.** During the research, methods were used to systematize, compare and analyze statistical data on the areas of perennial plantings, yields and gross yields of fruit and berry products published by the State Statistics Committee, Eurostat, FAO. **Results.** Based on the analysis, it was revealed that the production of fruit and berry products in Russia has been increasing in recent years, the average yield has reached 10–12 t/ha, which provided the average Russian citizen with 33 kg of fruits and berries per capita in 2021. This was significantly less than in other countries of the world. The analysis shows that most of the area of cultivated fruit and berry crops in the Russian Federation falls on household farms – 62 %. This structure is due to the fact that most of the grown products are used for personal consumption and not for commercial purposes. The lack of an established market for the sale of perishable fruit and berry products and the necessary material base for their storage and processing inhibits large farms from investing in expensive projects for commercial production of these risky products, delays the transition to modern intensive varieties and intensive technologies for growing fruit and berry crops, and makes it difficult to solve the problem on import substitution and fulfilling the goal of the Food Security Doctrine to achieve a level of self-sufficiency in fruits and berries of at least 60 %. **Scientific novelty.** Based on the latest domestic, EU and global statistical data, an assessment is given of the state of production of fruit and berry products and the level of achievement of food security in the country according to this indicator.

**Keywords:** fruit growing, berry growing, area of perennial plantings, productivity, gross yield, food security

**For citation:** Lentochkin A. M., Nikitina A. V., Lekontseva T. G. Analysis of production status fruit and berry products. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-381-391>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 09.06.2024, **date of review:** 05.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

#### Постановка проблемы (Introduction)

В мире остро стоит проблема продовольственной безопасности. В 2020 году от голода страдало от 720 до 811 млн человек, что было на 118 млн человек больше предыдущего года; почти 2,37 млрд человек не имели доступа к достаточному количеству продовольствия. Доля страдающих от голода в Африке составила 21 % населения, в Латинской Америке и Карибском бассейне – 9,1 %, в Азии – 9,0 %. Из общего количества недоедающих в 2020 году (768 млн чел.) на Азию приходится 418 млн, на Африку – 282 млн, на страны Латинской Америки и Карибского бассейна – 60 млн [1].

Быстрый рост населения, изменение климата и ограниченность природных ресурсов обострили проблему продовольственной безопасности и будут играть решающую роль в борьбе с недоеданием и в укреплении здоровья населения [2]. Рекомендуется, чтобы 50 % ежедневного рациона питания населения составляли фрукты и овощи. Поэтому необходимо решить проблемы увеличения и интенсификации продукции садоводства, что может быть достигнуто за счет повышения устойчивости культур к изменению климата, возможности управления биотическими, абиотическими и экологическими рисками и достижением устойчивого производства [3].

Установлено, что глобальная приземная температура с 1970 года росла быстрее, чем за любой другой 50-летний период, в течение по крайней мере последних 2000 лет. Ожидается, что этот процесс будет продолжаться в XXI веке. Повышение температуры будет сопровождаться уменьшением количества осадков в Центральной Европе, Южной

Европе и Средиземноморье, тогда как в Северной Европе ожидается увеличение среднегодового количества осадков [4]. Подобные прогнозы были сделаны для Северной Канады, согласно которым изменение климата приведет к 2081–2100 годам к повышению средней годовой температуры на несколько градусов, к увеличению годового количества осадков на 10–30 %, к увеличению продолжительности вегетационного периода. Высказано предположение, что к 2099 году 76 % бореальных регионов страны могут стать благоприятными для выращивания зерновых культур и передний край этой зоны сдвинется к северу на 1200 км [5].

Национальными интересами и стратегической целью Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации является обеспечение населения страны качественной и доступной сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием в объемах, обеспечивающих рациональные нормы потребления пищевой продукции. Среди продуктов питания особое внимание должно уделяться биологически полноценной плодово-ягодной продукции. В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности уровень самообеспечения фруктами и ягодами должен быть не менее 60 % [6]. Выполнение поставленной задачи по импортозамещению и обеспечению населения страны свежими фруктами отечественного производства может быть решено за счет увеличения объемов их производства, что можно достичь как путем расширения площадей плодовых и ягодных культур, в первую очередь, садов интенсивного типа, так и повышения урожайности [4].



Таблица 1

Численность населения, производство плодов, ягод, цитрусовых и винограда в странах мира [14]

Страна	Численность населения в 2021 г., млн чел.	Производство продукции					
		2010 г.	2015 г.	2021 г.			
				Всего, млн т	Отклонение от 2010 г., %	Доля в мировом производстве, %	На душу населения, кг
Мир в целом	7875	749	775	859	+14,7	100,00	108
Россия	147,2	2,4	3,2	4,8	+100,0	0,56	33
Украина	41,2	2,2	2,5	2,5	+13,6	0,29	61
Германия	83,2	2,2	2,6	2,5	+13,6	0,29	30
Франция	65,4	9,1	9,5	8,0	-12,1	0,93	122
Италия	59,1	18,8	18,6	17,4	-7,4	2,03	294
Испания	47,3	18,2	20,0	19,6	+7,7	2,28	414
Турция	84,7	20,3	21,4	26,4	+30,0	3,07	312
Иран	84,1	18,5	20,0	17,4	-5,9	2,03	207
Египет	102,1	12,4	15,4	14,2	+14,5	1,65	139
Китай	1412,6	198	232	257	+29,8	29,92	182
Бразилия	213,3	41,7	40,2	40,0	-4,1	4,66	188
США	332,0	31,4	29,6	26,4	-15,9	3,07	80

Table 1

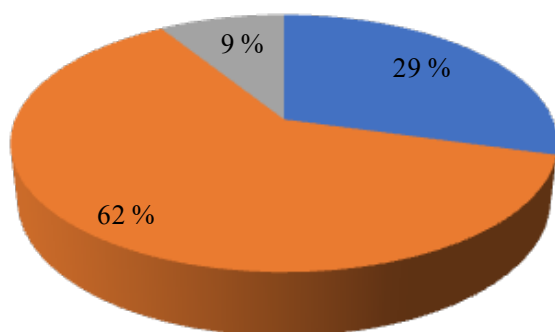
Population, production of fruits, berries, citrus fruits and grapes in countries of the world [14]

Country	Population in 2021, million people	Product manufacturing					
		2010	2015	2021			
				Total, million tonnes	Deviation from 2010, %	Share in world production, %	Average per capita, kg
World, total	7875	749	775	859	+14.7	100.00	108
Russia	147.2	2.4	3.2	4.8	+100.0	0.56	33
Ukraine	41.2	2.2	2.5	2.5	+13.6	0.29	61
Germany	83.2	2.2	2.6	2.5	+13.6	0.29	30
France	65.4	9.1	9.5	8.0	-12.1	0.93	122
Italy	59.1	18.8	18.6	17.4	-7.4	2.03	294
Spain	47.3	18.2	20.0	19.6	+7.7	2.28	414
Turkey	84.7	20.3	21.4	26.4	+30.0	3.07	312
Iran	84.1	18.5	20.0	17.4	-5.9	2.03	207
Egypt	102.1	12.4	15.4	14.2	+14.5	1.65	139
China	1412.6	198	232	257	+29.8	29.92	182
Brazil	213.3	41.7	40.2	40.0	-4.1	4.66	188
USA	332.0	31.4	29.6	26.4	-15.9	3.07	80

В Евросоюзе площадь многолетних насаждений для потребления их продукции человеком в 2022 году составляла 11,70 млн га (увеличение с 2015 года на 2,3 %), в том числе в Греции – 1,13 млн га, в Испании – 5,08 млн га, во Франции – 0,98 млн га, в Италии – 2,36 млн га, в Португалии – 0,87 млн га, в Турции – 3,65 млн га, в Польше – 0,32 млн га [8]. При этом площадь насаждений, занимаемая в Евросоюзе в 2022 году яблонями, составляла 478 тыс. га, снизившись с 2015 года на 8,4 % [9]. Получается, площадь под основной семечковой культурой (яблоней) снижается, а в целом под многолетними насаждениями – увеличивается.

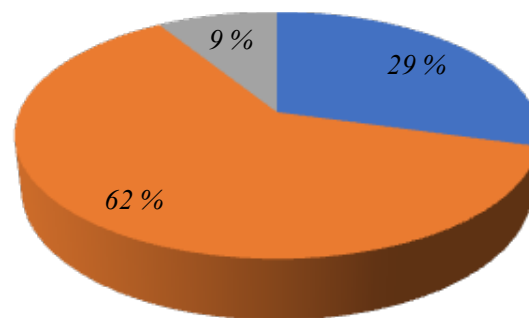
Несмотря на сокращение площадей в Евросоюзе под яблонями, это сопровождалось не снижени-

ем, а увеличением валовых сборов. Такой результат был достигнут за счет саженцев на слаброслых и карликовых клоновых подвоях, что позволило увеличить густоту посадки деревьев и внедрить интенсивные технологии их выращивания. Так, в 2017 году из общей площади яблоневых садов на десертные цели 457,5 тыс. га распределение по плотности насаждения деревьев было следующим: менее 400 шт/га – 13,3 %, 400–1599 шт/га – 36,2 %, 1600–3199 шт/га – 42,0 %, 3200 шт/га и более – 8,4 % [10]. По классификации, приводимой известным плодоводом Л. В. Григорьевой, первая группа насаждений относится к экстенсивной модели садов, остальные – к интенсивным моделям [11].



- Сельскохозяйственные организации
- Хозяйства населения
- Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели

Рис. 1. Распределение категорий хозяйств Российской Федерации по занимаемым площадям плодовых и ягодных культур в 2022 году [17]



- Agricultural organizations
- Households
- Peasant (farm) enterprises and individual entrepreneurs

Fig. 1. Distribution of categories of farms in the Russian Federation by area occupied by fruit and berry crops in 2022 [17]

Россия характеризуется как крупный импортер плодовой и ягодной продукции. Так, в период за 2010–2019 годов на долю Российской Федерации приходился самый большой объем импорта свежих яблок от общего их объема импорта среди стран Европы – в среднем за год 1089 тыс. т, или 8,4 % мирового импорта [12]. На начало 2019 года доля импортируемых фруктов и ягод превышала 67 %, а из группы ягод на землянику приходилось 41,9 %, смородину и крыжовник – 5,5 %, голубику – 5,2 %, малину и ежевику – 4,1 % [13].

Цель исследования – оценка состояния и установление закономерностей динамики показателей производства плодово-ягодной продукции.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследования были плодовые и ягодные культуры, предметом – значения площадей многолетних насаждений, урожайности и валовых сборов плодовой и ягодной продукции. Основными источниками статистической информации были данные Госкомстата, Eurostat, FAO. В ходе выполнения исследований были использованы методы систематизации, сравнения и анализа статистических данных.

#### Результаты (Results)

Численность населения в мире, как и в большинстве стран, продолжает неуклонно расти. Так, в 2021 году она достигла 7875 млн чел., увеличившись по сравнению с 2010 г. на 13,2 % (таблица 1) [14]. Это вызывает все возрастающую потребность в продуктах питания, в том числе в плодовой и ягодной продукции.

В мировом производстве плодов, ягод, цитрусовых и винограда, достигшем в 2021 году 859 млн т, различные страны имеют разнонаправленную динамику и занимают значительно различающееся положение. Самым крупным производителем этой про-

дукции является Китай, где производят около 30 % общемирового объема. Значительное количество плодово-ягодной продукции производят в Бразилии, США и Турции (соответственно 4,66 и по 3,07 %).

В России в 2021 году произвели 4,8 млн т плодово-ягодной продукции, что составило 0,56 % от уровня мирового объема при доле населения страны 1,9 % от общемирового значения. Прирост производства продукции с 2010 по 2021 год составил 100 %, что было значительно больше, чем во многих других странах мира. Однако этот прирост скорее говорит не об успехах, а об очень низкой исходной позиции и необходимости применения больших усилий, чтобы исправить сложившееся положение в производстве данного вида ценной продукции. Подтверждением этому служит показатель производства плодово-ягодной продукции на душу населения, который в 2021 году по России составлял всего 33 кг. Здесь уместно напомнить, что в соответствии с рекомендуемыми рациональными нормами, утвержденными приказом Минздрава РФ, один среднестатистический человек в год должен потреблять 100 кг свежих фруктов, в том числе яблок – 50 кг, груш и плодов косточковых культур – по 8 кг, ягод – 7 кг, винограда и цитрусовых – по 6 кг [15]. Получается, в настоящее время в нашей стране производится плодово-ягодной продукции не более 1/3 от потребности. Это один из самых низких показателей в мире.

Значительная территория России приходится на Нечерноземную зону, где благоприятнее уровень влагообеспеченности, меньшее развитие вредителей и возбудителей заболеваний плодовых и ягодных культур. В трех субъектах Уральского района Нечерноземной зоны, а также в Кировской области, входящей в Волго-Вятский район этой зоны, в 2022 году было произведено плодово-ягодной продукции

на душу населения меньше, чем в среднем по России: Кировская область – 27,6 кг, Пермский край – 13,6 кг, Свердловская область – 12,3 кг, Удмуртская Республика – 11,3 кг. В общем объеме производства плодов и ягод в России Кировская область занимала 33-е место, Свердловская область – 21-е, Пермский край – 30-е, Удмуртская Республика – 52-е [16].

При анализе состояния и перспектив развития садоводства важно выяснить источники, кто и где производит плодово-ягодную продукцию. Проведенный анализ показал, что в 2022 году распределение категорий хозяйств Российской Федерации, имеющих насаждения плодовых и ягодных культур, было представлено следующим образом (рис. 1).

Очевидно, что основная площадь плодовых и ягодных культур приходится на хозяйства населения – 62 %; затем следуют сельскохозяйственные организации – 29 %, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели – 9 % [17]. В Удмуртской Республике, территория которой относится к зоне промышленного ягодоводства и ограниченного плодоводства, соотношение категорий хозяйств было следующим: 96,7, 0,1 и 3,2 % [18]. Такое распределение площадей плодовых и ягодных культур свидетельствует о том, что данная продукция выращивается главным образом для личного потребления, а не на товарные цели. Без повышения заинтересованности крупных хозяйств в увеличении объемов производства товарной плодовой и ягодной продукции не удастся внедрить современные интенсивные технологии, существенно поднять урожайность и увеличить валовые сборы этой продукции.

Отсутствие экономической заинтересованности крупных хозяйств в увеличении производства плодово-ягодной продукции, на наш взгляд, связано с рядом объективных причин. Во-первых, отсутствие выгодной для товаропроизводителя системы закупки выращенной скоропортящейся плодово-ягодной продукции. Во-вторых, отсутствие требуемого объема промышленных емкостей для охлаждения, хранения в регулируемой среде и заморозки свежей плодово-ягодной продукции, отлаженной системы закупки продукции перерабатывающими предприятиями и торговыми сетями. В-третьих, отсутствие системы выявления наилучших адаптированных к каждому региону сортов плодовых и ягодных культур (наоборот, идет сокращение государственных сортоиспытательных участков, где плодовые и ягодные культуры испытывались). В-четвертых, в регионах отсутствует должная лабораторная база по оздоровлению посадочного материала от накапливающейся грибной, бактериальной и вирусной инфекции вегетативно размножаемых плодовых и ягодных культур. В-пятых, при отсутствии реального зонального испытания оздоровленного посадочного материала невозможны выявление адап-

тированных к условиям региона помологических сортов, закладка садов надежным посадочным материалом и освоение интенсивных технологий.

В России за 2000–2020 годы общая площадь плодовых и ягодных насаждений в хозяйствах всех категорий значительно снизилась (на 39,6 %), в том числе семечковые культуры – на 45,7 %, косточковые – на 29,6 %, ягодники – на 38,5 %, что обусловлено выбытием старовозрастных садов; площадь виноградников увеличилась на 36,6 % [19]. Но в последние годы ситуация по многолетним насаждениям стала улучшаться, особенно в насаждениях плодоносящего возраста (таблица 2).

Площадь плодово-ягодных насаждений в плодоносящем возрасте за период 2020–2022 годов возросла на 2,5 %, а виноградников – на 7,8 %.

Валовой сбор плодов и ягод в 2022 году достиг 4273 тыс. т, увеличившись по сравнению с 2020 годом на 16,7 %, в том числе семечковые – на 24 %, косточковые – на 8,0 %. Валовой сбор ягод практически не изменился, а винограда – возрос почти на 1/3. Увеличение валовых сборов плодово-ягодной продукции в значительной степени обеспечено повышением урожайности, которая превысила 10 т/га, в том числе по плодам и ягодам в 2022 году составила 12,5 т/га, увеличившись по сравнению с 2020 годом на 16,8 %, а винограда – 11,1 т/га, увеличившись на 20,7 %.

Очевидно значительное повышение урожайности плодовых и ягодных культур в последние годы, но в сравнении с другими странами достигнутая в России величина – это низкий уровень, т. к. по сведениям, приводимым М. И. Дуловым [12], в 2020 году среднемировая урожайность яблок, являющихся основной плодовой продукцией, составляла 18,7 т/га, в том числе в европейских странах: в Польше – 23,4 т/га, в Германии – 30,1 т/га, во Франции – 32,3 т/га, в Италии – 44,8 т/га, в Швейцарии – 52,6 т/га; в азиатских странах: в Китае – 21,1 т/га, в Турции – 25,2 т/га, в Израиле – 38,7 т/га; в странах Северной и Южной Америки: в Аргентине – 23,6 т/га, в Канаде – 25,2 т/га, в Бразилии – 30,3 т/га, в США – 38,9 т/га, в Чили – 50,1 т/га.

Увеличение валового сбора позволило поднять уровень производства плодово-ягодной продукции на душу населения России, который составил около 30 кг. Но при этом в других странах мира этот показатель был значительно выше: например, в Молдове – 465 кг, в Китае – 182 кг, в Азербайджане – 145 кг, в Узбекистане – 134 кг, в Польше – 133 кг, в Венгрии – 131 кг [19].

В регионах Российской Федерации развитие плодоводства и ягодоводства складывается по-разному. Регионы, имеющие наиболее значимый вклад в эту отрасль производства, представлены в таблице 3.

Таблица 2  
Динамика состояния плодовых, ягодных культур и винограда в хозяйствах всех категорий Российской Федерации за 2020–2022 годы [19]

Показатель	Группа	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
				Всего	Отклонение от значения 2020 г., %
Площадь насаждений в плодоносящем возрасте, тыс. га	Плодово-ягодные	357	358	366	+2,5
	Виноградные	77	81	83	+7,8
Валовой сбор, тыс. т	Плоды и ягоды, всего	3662	4039	4273	+16,7
	Семечковые	2342	2608	2904	+24,0
	Косточковые	602	640	650	+8,0
	Ягоды	695	756	690	-0,7
	Виноград	682	751	890	+30,5
Урожайность, т/га [17]	Плодов и ягод	10,7	11,5	12,5	+16,8
	Винограда	9,2	9,6	11,1	+20,7

Table 2  
Dynamics of the state of fruit, berry crops and grapes in farms of all categories of the Russian Federation for 2020–2022 [19]

Index	Group	2020	2021	2022	
				Total	Deviation from the 2020 value, %
Square plantings at fruiting age, thousand ha	Fruit and berry	357	358	366	+2.5
	Grape	77	81	83	+7.8
Gross harvest, thousand tonnes	Fruits and berries, total	3662	4039	4273	+16.7
	Pome crops	2342	2608	2904	+24.0
	Stone fruits	602	640	650	+8.0
	Berry crops	695	756	690	-0.7
	Grape	682	751	890	+30.5
Yield, t/ha [17]	Fruit and berry	10.7	11.5	12.5	+16.8
	Grape	9.2	9.6	11.1	+20.7

Таблица 3  
Площадь, валовой сбор и урожайность плодово-ягодных насаждений (включая цитрусовые) в хозяйствах всех категорий в 2022 году [20]

Субъект	Площадь, тыс. га	Валовой сбор, тыс. т	Урожайность, т/га
Российская Федерация	450,0	4272,9	12,5
Воронежская область	17,4	129,8	12,3
Липецкая область	11,1	89,6	12,3
Московская область	16,5	140,3	9,7
Республика Крым	15,1	187,1	18,9
Краснодарский край	42,7	601,9	18,9
Волгоградская область	15,2	164,8	15,9
Ростовская область	18,2	107,4	7,6
Республика Дагестан	28,0	209,7	9,5
Кабардино-Балкарская Республика	26,7	680,1	32,7
Ставропольский край	10,6	115,1	13,6
Республика Башкортостан	8,5	47,0	6,6
Республика Татарстан	7,5	105,7	16,8
Самарская область	8,9	94,8	14,2
Саратовская область	9,9	58,8	10,6



*Area, gross yield and productivity of fruit and berry plantings (including citrus fruits) in farms of all categories in 2022 [20]*

<i>Subject</i>	<i>Area, thousand ha</i>	<i>Gross harvest, thousand tonnes</i>	<i>Productivity, t/ha</i>
<i>Russian Federation</i>	450.0	4272.9	12.5
<i>Voronezh Region</i>	17.4	129.8	12.3
<i>Lipetsk Region</i>	11.1	89.6	12.3
<i>Moscow Region</i>	16.5	140.3	9.7
<i>Republic of Crimea</i>	15.1	187.1	18.9
<i>Krasnodar Territory</i>	42.7	601.9	18.9
<i>Volgograd Region</i>	15.2	164.8	15.9
<i>Rostov Region</i>	18.2	107.4	7.6
<i>Republic of Daghestan</i>	28.0	209.7	9.5
<i>Kabardino-Balkarian Republic</i>	26.7	680.1	32.7
<i>Stavropol Territory</i>	10.6	115.1	13.6
<i>Republic of Bashkortostan</i>	8.5	47.0	6.6
<i>Republic of Tatarstan</i>	7.5	105.7	16.8
<i>Samara Region</i>	8.9	94.8	14.2
<i>Saratov Region</i>	9.9	58.8	10.6

По площади насаждений плодово-ягодных культур в России в 2022 году лидирующие позиции занимали Краснодарский край – 42,7 тыс. га, Республика Дагестан – 28,0 тыс. га и Кабардино-Балкарская Республика – 26,8 тыс. га.

Лидерами по валовому сбору в стране являются Кабардино-Балкарская Республика – 680,1 тыс. т, Краснодарский край – 601,9 тыс. т, Республика Дагестан – 209,7 тыс. т, Республика Крым – 187,1 тыс. т, Волгоградская область – 164,8 тыс. т, Московская область – 140,3 тыс. т.

Урожайность плодово-ягодной продукции в Российской Федерации в 2022 году увеличилась, составив в среднем 12,5 т/га. Рекордную урожайность среди регионов получили в Кабардино-Балкарской Республике – 32,7 т/га. Среди регионов, превысивших среднероссийский уровень урожайности, можно выделить Республику Крым – 18,9 т/га, Краснодарский край – 18,9 т/га, Республику Татарстан – 16,8 т/га, Волгоградскую область – 15,9 т/га, Самарскую область – 14,2 т/га, Ставропольский край – 13,6 т/га.

На фоне представленных значений регионов – лидеров по производству плодово-ягодной продукции представляет интерес анализ динамики этого показателя в ряде субъектов Нечерноземной зоны (таблица 4).

При увеличении валовых сборов плодово-ягодной продукции в Российской Федерации в хозяйствах всех категорий в 2022 году по сравнению с 2005 годом на 78 % в рассматриваемых регионах динамика показателя была разнонаправленной. Так, если в Кировской области этот показатель увеличился на 70 %, то в других субъектах произошло снижение: в Свердловской области – на 10 %, в Пермском крае – на 21 %, в Удмуртской Республике – за 17 лет на 50 %.

В связи с глобальным потеплением климатические условия территории Нечерноземной зоны стали для садовых культур более благоприятными. Например, по данным метеостанции Ижевск, среднегодовая сумма активных температур за период 2016–2020 годов по годам в среднем повысилась и стала более 2100 °С [21], а за 2010–2023 годы превысила 2300 °С. Это дает возможность выращивать не только многие ягодные, но и ряд более требовательных плодовых культур. Однако в силу сложившихся экономических и социальных причин в Удмуртской Республике наблюдается не увеличение, а снижение площадей плодовых и ягодных насаждений (таблица 5). Так, за последние полтора десятка лет при сокращении общей площади плодовых и ягодных культур в хозяйствах всех категорий на 27 % ягодные культуры сократилась на 47 %, косточковые – на 10 %, семечковые – на 14 %, орехоплодные культуры и виноград стали появляться в последние 10 лет, но их площади весьма малы [18].

Сорта, рекомендованные государственным реестром селекционных достижений, существенно различаются по хозяйственно ценным признакам – урожайности, архитектонике кроны (куста), скороплодности, зимостойкости и др. Поэтому общие рекомендации для любого из регионов, каждый из которых представлен значительно различающимися почвенно-климатическими условиями, не подходят. Требуется зональное испытание сортов на их наилучшую адаптивность к конкретным условиям закладки товарного и маточного садов. К сожалению, при отсутствии специализированного по плодовым и ягодным культурам государственного сортоиспытательного участка в регионе сделать это практически невозможно. Поэтому нередки случаи закладки садов неадаптированными сортами, которые погибают в первые же годы.

Таблица 4  
Динамика валовых сборов плодов и ягод в хозяйствах всех категорий субъектов Уральского района Нечерноземной зоны и Кировской области, тыс. т [18]

Регион	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2022 г.	Отклонение от значения 2005 г.	
					тыс. т	%
Российская Федерация	2403,8	2074,7	2676,1	4272,9	+1869,1	+78
Удмуртская Республика	32,5	26,7	18,4	16,3	-16,2	-50
Пермский край	42,9	14,8	25,5	34,0	-8,9	-21
Кировская область	18,5	8,6	11,5	31,4	+12,9	+70
Свердловская область	58,1	48,1	54,0	52,3	-5,8	-10

Table 4  
Dynamics of gross harvests of fruits and berries in farms of all categories of subjects of the Ural region of the Non-Chernozem zone and the Kirov region, thousand tonnes [18]

Subject	2005	2010	2015	2022	Deviation from 2005 values	
					ths. tonnes	%
Russian Federation	2403.8	2074.7	2676.1	4272.9	+1869.1	+78
Udmurtian Republic	32.5	26.7	18.4	16.3	-16.2	-50
Perm Territory	42.9	14.8	25.5	34.0	-8.9	-21
Kirov Region	18.5	8.6	11.5	31.4	+12.9	+70
Sverdlovsk Region	58.1	48.1	54.0	52.3	-5.8	-10

Таблица 5  
Динамика площадей плодовых и ягодных культур в хозяйствах всех категорий Удмуртской Республики, га [18]

Группа культур	2007 г.	2010 г.	2015 г.	2022 г.	Отклонение от значения 2007 г.	
					га	%
Плодово-ягодные	4387	4696	3888	3198	-1189	27
Семечковые	1159	1161	957	1002	-157	14
Косточковые	1222	1496	1427	1095	-127	10
Ягодные	2030	2056	1512	1076	-954	47
Орехоплодные	0	0	8	18	-	-
Виноград	0	0	10	6	-	-

Table 5  
Dynamics of areas of fruit and berry crops in farms of all categories Udmurt Republic, ha [18]

Group of crops	2007	2010	2015	2022	Deviation from 2007 values	
					ha	%
Fruit and berry crops	4387	4696	3888	3198	-1189	27
Pome crops	1159	1161	957	1002	-157	14
Stone fruits	1222	1496	1427	1095	-127	10
Berry crops	2030	2056	1512	1076	-954	47
Nut crops	0	0	8	18	-	-
Grape	0	0	10	6	-	-

Сложившаяся ситуация с плодовыми и ягодными культурами, к сожалению, не способствует увеличению их площади и объемов производства продукции. Получился замкнутый круг проблем, который можно разорвать лишь при комплексном подходе к его решению.

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

Можно однозначно сказать, что состояние производства плодовой и ягодной продукции в российской Федерации оставляет желать лучшего.

Рассчитывать, что «Запад нам поможет», утопично. Необходимо вкладывать финансовые ресурсы не в закупку зарубежной плодоовощной продукции, машин и оборудования для производства, хранения и переработки плодово-ягодной продукции, а в развитие отечественных предприятий. Развитию пловодства в значительной мере благоприятствует глобальное потепление, которое увеличивает территорию страны, пригодную для выращивания ягодной и плодовой продукции. Но задачи, постав-

ленные Доктриной продовольственной безопасности, требуют конкретных и действенных решений, позволяющих реализовать поставленные задачи и цели.

1. При неуклонном росте численности населения в мире растет и потребность в продуктах питания, в том числе и в биологически ценной плодово-ягодной продукции. В этих условиях Российская Федерация, имея необходимые природные условия для существенного увеличения насаждений плодовых и ягодных культур, повышения урожайности и валовых сборов, остается крупным импортером плодово-ягодной продукции, в том числе той, которая могла успешно выращиваться в России и экспортироваться в другие страны.

2. Производство плодово-ягодной продукции в России в последние годы увеличивается, средняя урожайность достигает 10–12 т/га. В расчете на душу населения в 2021 году это составило 33 кг. В ряде восточных районов Нечерноземной зоны в 2022 году этот показатель был меньше российских значений: Кировская область – 27,6 кг, Свердловская область – 12,3 кг, Пермский край – 13,6 кг, Удмуртская Республика – 11,3 кг.

3. В Российской Федерации наибольшая доля площадей плодовых и ягодных культур в 2022 году была сосредоточена в хозяйствах населения – 62 %; в сельскохозяйственных организациях эта величина составляла 29 %, в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей – 9 %. В Удмуртской Республике распределение по категориям хозяйств было соответственно 96,7, 0,1 и 3,2 %. Эта структура свидетельствует о выращивании плодовых и ягодных культур главным образом для личного потребления. Отсутствие реального рынка сбыта скоропортящейся свежей плодовой и ягодной продукции, в том числе отсутствие достаточных мощностей холодильных и морозильных камер, системы потребления перерабатывающими предприятиями, – все это тормозит крупные хозяйства вкладывать средства в дорогостоящие проекты производства плодовой и ягодной продукции, переход на современные интенсивные сорта и интенсивные технологии, решение проблемы по импортозамещению и выполнению задачи Доктрины продовольственной безопасности по достижению уровню самообеспечения фруктами и ягодами не менее 60 %.

#### Библиографический список

1. ФАО, МФСР, ЮНИСЕФ, ВПП и ВОЗ. 2021 год. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире – 2021. Преобразование продовольственных систем в интересах обеспечения продовольственной безопасности, улучшения качества питания и экономической доступности здоровых рационов питания для всех. DOI: 10.4060/cb4474ru.
2. Basile B., Andreotti C., Rogers H., Roupheal Y. The role of horticultural research in mitigating global food and economic crises // *Italus Hortus*. 2023. Vol. 30, No. 1. DOI: 10.26353/j.itahort/2023.1.0102.
3. Congreves K. A., Tanino K. K., Trueman C. L. Advancements in Canadian horticulture // *Canadian Journal of Plant Science*. 2021. Vol. 101, No. 6. DOI: 10.1139/cjps-2021-0239.
4. Sodini M., Callesen T., Canton M., Tezza L., Bastos Campos F., Zanotelli D., Tarolli P., Sivilotti P., Pitacco A., Tagliavini M. Major threats caused by climate change to grapevine // *Italus Hortus*. 2023. Vol. 30, No. 2. DOI: 10.26353/j.itahort/2023.2.0124.
5. KC K. B., Green A. G., Wassmansdorf D., Gandhi V., Nadeem K., Fraser E. D. G. Opportunities and trade-offs for expanding agriculture in Canada's North: an ecosystem service perspective // *FACETS*. 2021. Vol. 6. Pp. 1728–1752. DOI: 10.1139/facets-2020-0097.
6. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=343386&dst=1000000001%2C0#ZnLy5mSzDvBrd0rB> (дата обращения: 10.05.2022).
7. Технология и технические средства для интенсивного садоводства: аналит. обзор / Н. П. Мишуков, В. Ф. Федоренко, А. И. Завражнов [и др.]. Москва: Росинформагротех, 2020. 96 с.
8. Eurostat. Data Browser. Permanent crops for human consumption. Area [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/83f66b99-90b0-4037-9493-63de6afcca5e?lang=en> (дата обращения: 08.03.2024).
9. Eurostat. Data Browser. Apples. Area [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/ea5b7575-3f7e-4e20-904b-e6e8a500e27e?lang=en> (дата обращения: 08.03.2024).
10. Eurostat. Data Browser. Apple and pear trees – Area by age and density classes (area in ha). Dessert apple trees. Plantation Density [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/bc-dad30a-457a-4178-920e-daf6f7196af4?lang=en> (дата обращения: 08.03.2024).
11. Григорьева Л. В. Модели интенсивных садов яблони для условий средней полосы России [Электронный ресурс]. URL: <http://asprus.ru/blog/modeli-intensivnyx-sadov-yabloni-dlya-uslovij-srednej-polosy-rossii-grigoreva-lv/> (дата обращения: 13.06.2022).

12. Дулов М. И. Площади плодовых насаждений, сбор урожая и урожайность яблок в странах мира // В кн.: Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: монография / Алиев Х. М., Андрианова Л. П., Аглиев К. Т. [и др.]. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. С. 393–419.

13. Латков Н. Ю., Видякин А. В., Коржук А. Б., Латкова Е. В. Анализ и перспективы развития ягодного растениеводства в РФ // *International Agricultural Journal*. 2020. Т. 6. С. 47–58. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10231.

14. Россия и страны мира. 2023: стат. сб. [Электронный ресурс]. Москва: Росстат, 2023. 393 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Russia\\_strani\\_mira\\_2023.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Russia_strani_mira_2023.rar) (дата обращения: 09.03.2024).

15. Российская Федерация. Министерство здравоохранения. Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: приказ от 19 августа 2016 г. № 614 (ред. от 15.10.2019 № 887, от 01.12.2020 № 1276) [Электронный ресурс]. URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=mmPLx7TQ8HHuvK5b&cacheid=9DC1CA85A2AD352ECD56529C2400E8DD&mode=splus&rnd=TwBbw&base=LAW&n=371282#8LRLx7TkrMhUvN9P2> (дата обращения: 03.06.2022).

16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: стат. сб. [Электронный ресурс]. Москва: Росстат, 2023. 1126 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region\\_Pokaz\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2023.pdf) (дата обращения: 09.03.2024).

17. Сельское хозяйство в России. 2023: стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 103 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel\\_hoz-vo\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_hoz-vo_2023.pdf) (дата обращения: 09.03.2024).

18. Федеральная служба государственной статистики. База данных показателей муниципальных образований. Удмуртская Республика. Сельское хозяйство. Площадь многолетних насаждений в хозяйствах всех категорий. Плодово-ягодные, га [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/munst94/DBInet.cgi#1> (дата обращения: 10.03.2024).

19. Российский статистический ежегодник. 2023: стат. сб. [Электронный ресурс]. Москва: Росстат, 2023. 701 с. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2023.pdf) (дата обращения: 10.03.2024).

20. Федеральная служба государственной статистики. Площади, валовой сбор и урожайность многолетних насаждений в Российской Федерации в 2022 году [Электронный ресурс]. Москва: Росстат, 2023. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/plod\\_2022.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/plod_2022.xlsx) (дата обращения: 10.03.2024).

21. Ленточкин А. М., Бабайцева Т. А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22, № 6. С. 826–834. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834.

#### Об авторах:

**Александр Михайлович Ленточкин**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой плодовоовощеводства и защиты растений, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0003-0256-489X, AuthorID 668113. *E-mail: lenalmih@mail.ru*

**Анна Викторовна Никитина**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры плодовоовощеводства и защиты растений, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0002-5926-3804, AuthorID 1031925. *E-mail: anya-mashkovceva@yandex.ru*

**Татьяна Германовна Леконцева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры плодовоовощеводства и защиты растений, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0002-6659-0504, AuthorID 637255. *E-mail: t.lekontseva@yandex.ru*

#### References

1. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2021. The state of food security and nutrition in the world. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO. DOI: 10.4060/cb4474ru.

2. Basile B., Andreotti C., Rogers H., Rouphael Y. The role of horticultural research in mitigating global food and economic crises. *Italus Hortus*. 2023; 30 (1). DOI: 10.26353/j.itahort/2023.1.0102.

3. Congreves K. A., Tanino K. K., Trueman C. L. Advancements in Canadian horticulture. *Canadian Journal of Plant Science*. 2021; 101 (6). DOI: 10.1139/cjps-2021-0239.

4. Sodini M., Callesen T., Canton M., Tezza L., Bastos Campos F., Zanotelli D., Tarolli P., Sivilotti P., Pitacco A., Tagliavini M. Major threats caused by climate change to grapevine. *Italus Hortus*. 2023; 30 (2). DOI: 10.26353/j.itahort/2023.2.0124.

5. KC K. B., Green A. G., Wassmansdorf D., Gandhi V., Nadeem K., Fraser E. D. G. Opportunities and trade-offs for expanding agriculture in Canada's North: an ecosystem service perspective. *FACETS*. 2021; 6: 1728–1752. DOI: 10.1139/facets-2020-0097.



6. Doctrine of food security of the Russian Federation [Internet] 2020 [cited 2022 May 10]. Available from: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=343386&dst=100000001%2C0#ZnLy5mSzDvBrd0rB>. (In Russ.)
7. Mishurov N. P., Fedorenko V. F., Zavrazhnov A. I., et al. Technology and technical means for intensive gardening: analytical review. Moscow: Rosinformagrotekh, 2020. 96 p. (In Russ.)
8. Eurostat. Data Browser. Permanent crops for human consumption. Area [Internet] 2024 [cited 2024 Mar 8]. Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/83f66b99-90b0-4037-9493-63de6afcca5e?lang=en>.
9. Eurostat. Data Browser. Apples. Area [Internet] 2024 [cited 2024 Mar 8]. Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/ea5b7575-3f7e-4e20-904b-e6e8a500e27e?lang=en>.
10. Eurostat. Data Browser. Apple and pear trees – Area by age and density classes (area in ha). Dessert apple trees. Plantation Density [Internet] 2024 [cited 2024 Mar 8]. Available from: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/bcdad30a-457a-4178-920e-daf6f7196af4?lang=en>.
11. Grigoryeva L. V. Models of intensive apple orchards for the conditions of central Russia [Internet]. 2022 [cited 2022 Jun 8]. Available from: <http://asprus.ru/blog/modeli-intensivnyx-sadov-yabloni-dlya-uslovij-srednej-polosy-rossii-grigoreva-lv/>. (In Russ.)
12. Dulov M. I. Areas of fruit plantings, harvesting and apple yields in the countries of the world. In: Fundamental and applied science: state and development trends: a monograf. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership “New Science” (individual entrepreneur Ivanovskaya I. I.), 2022. Pp. 393–419. (In Russ.)
13. Latkov N. Yu., Vidyakin A. V., Korzhuk A. B., Latkova E. V. Analysis and prospects for the development of berry crop production in the RF. *International agricultural journal*. 2020; 6: 47–58. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10231. (In Russ.)
14. Russia and countries of the world [Internet] 2023 [cited 2024 Mar 9]: statistical collection. Moscow: Rosstat, 2023. 393 p. Available from: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Russia\\_strani\\_mira\\_2023.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Russia_strani_mira_2023.rar). (In Russ.)
15. Russian Federation. Ministry of Health. On approval of recommendations on rational norms for the consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet: order dated August 19, 2016 No. 614 (as amended on October 15, 2019 No. 887, dated December 1, 2020 No. 1276) [Internet] 2020 [cited 2022 Jun 3]. Available from: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=mmPLx7TQ8HHuvK5b&cacheid=9DC1CA85A2AD352ECD56529C2400E8DD&mode=splus&rnd=TwBbwz&base=LAW&n=371282#8LRLx7TkrMhUvN9P2>. (In Russ.)
16. Regions of Russia. Socio-economic indicators: statistical collection [Internet] 2023 [cited 2024 Mar 9]. c 2023. 1126 p. Available from: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region\\_Pokaz\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2023.pdf). (In Russ.)
17. Agriculture in Russia: statistical collection [Internet] 2023 [cited 2024 Mar 9]. 103 p. Available from: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel\\_xoz-vo\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_xoz-vo_2023.pdf).
18. Federal State Statistics Service. Database of indicators of municipal formations. Udmurt Republic. Agriculture. Area of perennial plantings in farms of all categories, fruit and berry, ha [Internet] 2024 [cited 2024 Mar 10]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/munst94/DBInet.cgi#1>. (In Russ.)
19. Russian Statistical Yearbook: statistical collection [Internet] 2023 [cited 2024 Mar 10]. Moscow: Rosstat, 2023. 701 p. Available from: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2023.pdf). (In Russ.)
20. Federal State Statistics Service. Information-analytical materials. Areas, gross harvest and productivity of perennial plantations in the Russian Federation in 2022 [Internet]. Moscow: Rosstat, 2023 [cited 2024 Mar 10]. Available from: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/plod\\_2022.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/plod_2022.xlsx). (In Russ.)
21. Lentochkin A. M., Babaytseva T. A. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agricultural Science Euro-North-East* 2021; 22 (6): 826–834. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834. (In Russ.)

#### Authors' information:

**Aleksandr M. Lentochkin**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of horticulture and plant protection, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0003-0256-489X, AuthorID 668113. *E-mail: lenalmih@mail.ru*

**Anna V. Nikitina**, candidate of agricultural sciences, senior lecturer of the department of horticulture and plant protection, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0002-5926-3804, AuthorID 1031925. *E-mail: anya-mashkovceva@yandex.ru*

**Tatyana G. Lekontseva**, candidate of agricultural sciences, assistant of the department of horticulture and plant protection, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0002-6659-0504, AuthorID 637255. *E-mail: t.lekontseva@yandex.ru*

## Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сортов озимой мягкой пшеницы на орошаемых землях равнинного Дагестана

А. И. Магомедов<sup>1</sup>, С. А. Курбанов<sup>1</sup>, Д. С. Магомедова<sup>2✉</sup>

<sup>1</sup> Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

<sup>2</sup> Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

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

**Аннотация.** Для реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. необходимо существенно поднять урожайность зерновых культур, а это станет возможным, если их производство будет вестись по инновационным ресурсосберегающим технологиям с интенсивным применением удобрений и использованием интенсивных сортов. В статье дана оценка сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка» по урожайности и показателям качества в орошаемых условиях равнинной орошаемой зоны Терско-Сулакской низменности Республики Дагестан. **Цель исследования** заключалась в изучении перспективных для орошаемых условий Республики Дагестан сортов озимой мягкой пшеницы и разработке научно обоснованной системы минерального питания, обеспечивающей получение запланированных уровней урожайности. **Методы.** Исследования проводили в 2020–2023 гг. на луговых среднесуглинистых почвах на опытном поле кафедры земледелия, почвоведения и мелиорации Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова. Изучались сорта селекции ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» Московская 39, Московская 56 и Немчиновская 85 и перспективный сорт Московская 27 в сравнении с сортом Гром селекции НЦЗ имени П. П. Лукьяненко. Полевые исследования, наблюдения, биометрические измерения, лабораторные анализы и обработку результатов с использованием пакета Microsoft Office, Excel проводили в соответствии с методикой полевого опыта Б. А. Доспехова. **Результаты.** Исследованиями установлено, что применение минеральных удобрений нормой  $N_{240}P_{90}$  и  $N_{280}P_{105}$  позволяет получить урожайность на уровне 7 и 8 т/га зерна озимой пшеницы соответственно. Самая высокая урожайность получена сортами Московская 27 и Московская 56. Наиболее высокими показателями качества зерна характеризовались сорта Московская 39, Немчиновская 85 и Московская 56. Расчеты агрономической и экономической эффективности показали, что наиболее целесообразно применение норм  $N_{200-240}P_{75-90}$  обеспечивающих высокую окупаемость 1 кг д. в. прибавкой урожая 14,8 кг зерна при наименьшей себестоимости производства 1 кг зерна прибавочного урожая на уровне 6,71–6,74 руб. **Научная новизна.** Впервые в условиях равнинной орошаемой зоны Республики Дагестан экспериментально изучены и определены сорта озимой мягкой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка», обладающие наиболее значимыми параметрами адаптивности и представляющие интерес для возможной сортосмены районированных сортов озимой пшеницы. Впервые в трехлетних опытах доказана возможность получения урожая зерна на уровне 7–8 т/га зерна на основе подбора научно обоснованной системы питания озимой мягкой пшеницы.

**Ключевые слова:** сорта озимой пшеницы, урожайность, качество зерна и муки, агроэкономическая эффективность удобрений

**Для цитирования:** Магомедов А. И., Курбанов С. А., Магомедова Д. С. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сортов озимой мягкой пшеницы на орошаемых землях равнинного Дагестана // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 392–401. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-392-401>.

**Дата поступления статьи:** 24.09.2024, **дата рецензирования:** 05.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

# Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of winter soft wheat varieties on irrigated lands of plain Dagestan

A. I. Magomedov<sup>1</sup>, S. A. Kurbanov<sup>1</sup>, D. S. Magomedova<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia

<sup>2</sup>Federal Agricultural Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

✉E-mail: mds-agro@mail.ru

**Abstract.** To implement the forecast of socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2030, it is necessary to significantly increase the yield of grain crops, and this will be possible if their production is carried out using innovative resource-saving technologies with intensive use of fertilizers and intensive varieties. The article provides an assessment of winter soft wheat varieties bred by the Federal Research Center “Nemchinovka” in terms of yield and quality indicators in irrigated conditions of the flat irrigated zone of the Terek-Sulak Lowland of the Republic of Dagestan. **The purpose** of the research was to study winter soft wheat varieties that are promising for the irrigated conditions of the Republic of Dagestan and to develop a scientifically based mineral nutrition system that ensures the planned yield levels. **Methods.** The studies were carried out in 2020–2023 on meadow medium loamy soils in the experimental field of the Department of Agriculture, Soil Science and Land Reclamation of the Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov. The studied varieties bred by the Federal Research Center “Nemchinovka” Moskovskaya 39, Moskovskaya 56 and Nemchinovskaya 85 and the promising variety Moskovskaya 27 were compared with the Grom variety selected by the National Center for Plant Genetics named after P. P. Lukyanenko. Field research, observations, biometric measurements, laboratory analyses and processing of results using the Microsoft Office package and Excel were carried out in accordance with the field experiment methodology of B. A. Dospekhov. **Results.** The research has established that the use of mineral fertilizers at the rate of  $N_{240}P_{90}$  and  $N_{280}P_{105}$  allows obtaining a yield of 7 and 8 t/ha of winter wheat grain, respectively. The highest yield was obtained by the Moskovskaya 27 and Moskovskaya 56 varieties. The highest grain quality indicators were characterized by the Moskovskaya 39, Nemchinovskaya 85 and Moskovskaya 56 varieties. Calculations of agronomic and economic efficiency have shown that the most appropriate is the use of  $N_{200-240}P_{75-90}$  rates, providing a high return on 1 kg of active ingredient with an increase in yield of 14.8 kg of grain and the lowest cost of production of 1 kg of surplus yield grain 6.71–6.74 rubles. **The scientific novelty** consisted in the fact that for the first time in the conditions of the flat irrigated zone of the Republic of Dagestan, varieties of winter soft wheat of the Nemchinovka selection, possessing the most significant adaptability parameters and of interest for possible variety substitution of zoned winter wheat varieties, were experimentally studied and determined. For the first time in three-year experiments, the possibility of obtaining grain yields at the level of 7–8 t/ha of grain based on the selection of a scientifically based nutrition system for winter soft wheat has been proven.

**Keywords:** winter wheat varieties, yield, grain and flour quality, agro-economic efficiency of fertilizers

**For citation:** Magomedov A. I., Kurbanov S. A., Magomedova D. S. Influence of mineral fertilizers on the yield and quality of winter soft wheat varieties on irrigated lands of plain Dagestan. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 392–401. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-392-401>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 24.09.2024, **date of review:** 05.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

Озимая пшеница – ведущая культура зернового комплекса России, доля посевов которой в 2022 году в структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур составила 35,2 %, а в общем производстве зерна – 46,9 %. Занимая третье место в мире по производству озимой пшеницы, Россия, к сожалению, в отличие от многих стран уступает по урожайности озимой пшеницы, которая в самом благополучном 2022 году составила 4,45 т/га [1]. В последние годы рост зернового производства

обеспечивала его интенсификация через научно обоснованное использование современных систем питания с учетом внедрения новых интенсивных сортов отечественной селекции. Для реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года необходимо существенно поднять урожайность зерновых культур, а это станет возможным, если их производство будет вестись по инновационным ресурсосберегающим технологиям с интенсивным применением удобрений и средств химической мелиорации [2].

Минеральные удобрения – главный ресурс управления продукционным процессом в современных технологиях, при эффективном использовании которых достигается получение планируемого уровня урожайности и сохранение плодородия почвы [3–6]. Эффективность внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу доказана многочисленными исследованиями в различных регионах ее возделывания, но применение их должно быть строго просчитанным [7–10].

В то же время очень важна оценка уровня интенсификации системы удобрений, которая базируется на трех основных группах показателей, в том числе на сравнении дополнительных затрат и результатов по прибыли и выходу валовой продукции на 1 га, рентабельности производства, окупаемости удобрений [11; 12]. В этой связи актуальны научные разработки по оптимизации минерального питания зерновых культур при внедрении в сельскохозяйственное производство интенсивных высокоурожайных сортов, устойчивых к неблагоприятным факторам внешней среды [13–16].

Цель исследований – изучить перспективные для орошаемых условий Республики Дагестан сорта озимой мягкой пшеницы и разработать научно обоснованную систему минерального питания, обеспечивающую получение запланированного уровня урожайности.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследований являлись сорта озимой мягкой пшеницы селекции ФИЦ «Немчиновка» – Московская 39, Московская 56, Немчиновская 85, перспективный сорт Московская 27 и сорт Гром (контроль) селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко. Полевой опыт проводился на орошаемых луговых среднесуглинистых почвах опытного поля кафедры земледелия, почвоведения и мелиорации Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова в 2020–2023 гг. Почвы опытного участка характеризуются невысоким содержанием гумуса (2,1 %), средней обеспеченностью легкогидролизующим азотом (47 мг/кг почвы), низкой обеспеченностью подвижным фосфором (17 мг/кг) и средней обеспеченностью обменным калием (230 мг/кг). Двухфакторный полевой опыт проводился по следующей схеме:

– фактор А – сорта озимой пшеницы;

– фактор В – уровни планируемой урожайности:

$B_1$  – планируемая урожайность 4,0 т/га, контроль ( $N_{120}P_{45}$  – фон);  $B_2$  – 5,0 т/га ( $N_{160}P_{60}$ );  $B_3$  – 6,0 т/га ( $N_{200}P_{75}$ );  $B_4$  – 7,0 т/га ( $N_{240}P_{90}$ );  $B_5$  – 8,0 т/га ( $N_{280}P_{105}$ ). Применение минеральных удобрений предусматривало два способа внесения: припосевное ( $N_{40}P_{10}$ ) и в подкормки. Подкормки проводились весной в фазу кущения на варианте  $B_1 - N_{30}P_{15}$ ,  $B_2 - N_{50}P_{20}$ ,  $B_3 - N_{70}P_{35}$ ,  $B_4 - N_{90}P_{35}$ ,  $B_5 - N_{110}P_{50}$ , в начале выхода в трубку на варианте  $B_1 - N_{30}P_{10}$ ,  $B_2 - N_{50}P_{20}$ ,

$B_3 - N_{70}P_{20}$ ,  $B_4 - N_{90}P_{35}$ ,  $B_5 - N_{110}P_{35}$  и в начале колошения – на всех вариантах –  $N_{20}P_{10}$ . Полевые исследования, наблюдения, биометрические измерения и обработку результатов проводили в соответствии с методикой полевого опыта Б. А. Доспехова.

#### Результаты (Results)

В современных условиях сорт является тем фактором, без которого невозможно достичь экономической стабильности сельскохозяйственных предприятий, поэтому изучение условий, определяющих его рост и развитие и будущую урожайность, является весьма актуальным. Нашими исследованиями установлено влияние биологических особенностей сортов и применяемых норм минеральных удобрений на ростовые процессы растений озимой пшеницы. Отмечено, что в фазу колошения изучаемые сорта существенно отличались по высоте растений: самым низкорослым был сорт Гром – 0,83 м, а самым высокорослым – сорт Немчиновская 85 – 1,21 м, остальные сорта занимали промежуточное положение, но с высотой посевов более 1 м. Анализ динамики роста высоты растений показал, что в фазу весеннего кущения формируется 28–30 % общей высоты растений, в фазе выхода в трубку – 52–57 %, а к началу колошения рост растений существенно замедляется, так как формируется 93–95 % от общей высоты растений. Отмечено также влияние вносимых норм минеральных удобрений на высоту растений, которая на контроле ( $N_{120}P_{45}$ ) составила 1,02 м, а при внесении  $N_{280}P_{105}$  – 1,17 м, т. е. прирост высоты составил 14,2 %.

Изучение корневой системы, которая определяет не только развитие всех органов и функций растений, но и степень усваивания влаги и растворенных в ней элементов питания, вносимых с минеральными удобрениями, показало, что степень ее развития зависит от биологических особенностей сортов, но в большей степени от вносимых минеральных удобрений (таблица 1). Различия в массе корневой системы между изучаемыми сортами находились в пределах 9,3–26,4 % и находились в прямой корреляционной зависимости от массы надземной части, о чем свидетельствует коэффициент корреляции  $r = 0,988$ .

Данные, полученные по распределению массы корневой системы озимой пшеницы в пахотном слое (0–0,3 м), показали, что увеличение норм вносимых минеральных удобрений не оказывает влияния на относительное содержание сухой корневой массы. Так, в слое 0–0,1 м сосредоточена основная масса корней – в среднем 64,6 %, в слое 0,1–0,2 м – 25,4 %, в слое 0,2–0,3 м – 10,0 %. Однако во всех слоях существенно возрастает масса корневой системы – с 2,28 т/га на контроле до 3,78 т/га при внесении максимальной нормы удобрений (на 65,8 %), рассчитанной на получение 8 т зерна с гектара.



Таблица 1

Влияние норм минеральных удобрений на распределение массы корневой системы озимой пшеницы по слоям пахотного горизонта (2021–2023 гг.)

Нормы удобрений	Масса корней по слоям почвы								K <sub>прод</sub>
	0–0,1 м		0,1–0,2 м		0,2–0,3 м		0–0,3 м		
	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	
N <sub>120</sub> P <sub>45</sub>	1,48	65,1	0,57	25,0	0,23	9,9	2,28	100,0	3,95
N <sub>160</sub> P <sub>60</sub>	1,72	64,7	0,68	25,6	0,26	9,8	2,66	116,7	4,14
N <sub>200</sub> P <sub>75</sub>	1,97	63,1	0,82	26,3	0,33	10,6	3,12	136,8	4,25
N <sub>240</sub> P <sub>90</sub>	2,27	65,6	0,88	25,4	0,31	9,0	3,46	151,7	4,44
N <sub>280</sub> P <sub>105</sub>	2,45	64,8	0,94	24,9	0,39	10,3	3,78	165,8	4,58

Agrotechnologies

Table 1

The influence of mineral fertilizer rates on the distribution of the mass of the root system of winter wheat across the layers of the arable horizon (2021–2023)

Fertilizer rates	Mass of roots in soil layers								Productivity coefficient
	0–0.1 m		0.1–0.2 m		0.2–0.3 m		0–0.3 m		
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	
N <sub>120</sub> P <sub>45</sub>	1.48	65.1	0.57	25.0	0.23	9.9	2.28	100.0	3.95
N <sub>160</sub> P <sub>60</sub>	1.72	64.7	0.68	25.6	0.26	9.8	2.66	116.7	4.14
N <sub>200</sub> P <sub>75</sub>	1.97	63.1	0.82	26.3	0.33	10.6	3.12	136.8	4.25
N <sub>240</sub> P <sub>90</sub>	2.27	65.6	0.88	25.4	0.31	9.0	3.46	151.7	4.44
N <sub>280</sub> P <sub>105</sub>	2.45	64.8	0.94	24.9	0.39	10.3	3.78	165.8	4.58

Таблица 2

Площадь листьев и показатели фотосинтетической деятельности посевов озимой пшеницы при запланированных уровнях урожайности (2021–2023 годы)

Нормы минеральных удобрений, кг д. в.	Площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup>	Показатели фотосинтетической деятельности*					
		ФП тыс. м <sup>2</sup> × дн/га	СВ, т/га	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> × сутки	СПП, г/м <sup>2</sup> × сутки	ЭРЛ, г/м <sup>2</sup>	КПД ФАР, %
N <sub>120</sub> P <sub>45</sub>	38,4	2629	9,02	3,44	13,21	116	1,68
N <sub>160</sub> P <sub>60</sub>	41,8	2862	11,01	3,85	16,09	125	2,05
N <sub>200</sub> P <sub>75</sub>	45,6	3139	13,27	4,22	19,24	135	2,47
N <sub>240</sub> P <sub>90</sub>	48,8	3370	15,38	4,57	22,30	141	2,87
N <sub>280</sub> P <sub>105</sub>	51,8	3598	17,31	4,80	24,86	148	3,23

Примечание. ФП – фотосинтетический потенциал; СВ – содержание сухого вещества; ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза; СПП – скорость прироста посевов; ЭРЛ – эффективность работы листьев; КПД ФАР – коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации.

Table 2

Leaf area and photosynthetic activity indicators of winter wheat crops at planned yield levels (2021–2023)

Norms of mineral fertilizers, kg active ingredient	Leaf area, thousand m <sup>2</sup>	Photosynthetic activity indicators*					
		PP, thousand m <sup>2</sup> days/ha	DM, t/ha	NPP, g/m <sup>2</sup> × day	CGR, g/m <sup>2</sup> × day	ELE, g/m <sup>2</sup>	PAR efficiency, %
N <sub>120</sub> P <sub>45</sub>	38.4	2629	9.02	3.44	13.21	116	1.68
N <sub>160</sub> P <sub>60</sub>	41.8	2862	11.01	3.85	16.09	125	2.05
N <sub>200</sub> P <sub>75</sub>	45.6	3139	13.27	4.22	19.24	135	2.47
N <sub>240</sub> P <sub>90</sub>	48.8	3370	15.38	4.57	22.30	141	2.87
N <sub>280</sub> P <sub>105</sub>	51.8	3598	17.31	4.80	24.86	148	3.23

Note. PP – photosynthetic potential; DM – dry matter content; NPP – net photosynthetic productivity; CGR – crop growth rate; ELE – leaf efficiency; PAR – efficiency of photosynthetically active radiation.

Таблица 3  
Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от уровней планируемой урожайности, т/га (2021–2023 годы)

Нормы минеральных удобрений, кг д. в.	Сорта озимой мягкой пшеницы					Средняя по фактору В
	Гром, контроль	Московская 27	Московская 39	Московская 56	Немчиновская 85	
$N_{120}P_{45}$ , контроль	3,96	5,02	4,32	4,59	4,43	4,46
$N_{160}P_{60}$	4,69	5,83	5,11	5,34	5,21	5,24
$N_{200}P_{75}$	5,43	6,84	5,92	6,46	6,12	6,15
$N_{240}P_{90}$	6,22	7,78	6,51	7,29	6,74	6,91
$N_{280}P_{105}$	6,65	8,57	7,29	8,07	7,65	7,65
Средняя по фактору А	5,39	6,81	5,83	6,35	6,03	

Примечание. НСР<sub>05</sub> для частных различий – 0,32 т/га.

Table 3  
Yield of winter soft wheat varieties depending on planned yield levels, t/ha (2021–2023)

Norms of mineral fertilizers, kg a. i.	Varieties of winter soft wheat					Average by factor B
	Grom, control	Moskovskaya 27	Moskovskaya 39	Moskovskaya 56	Nemchinovskaya 85	
$N_{120}P_{45}$ , control	3.96	5.02	4.32	4.59	4.43	4.46
$N_{160}P_{60}$	4.69	5.83	5.11	5.34	5.21	5.24
$N_{200}P_{75}$	5.43	6.84	5.92	6.46	6.12	6.15
$N_{240}P_{90}$	6.22	7.78	6.51	7.29	6.74	6.91
$N_{280}P_{105}$	6.65	8.57	7.29	8.07	7.65	7.65
Average by factor A	5.39	6.81	5.83	6.35	6.03	

Note. LSD<sub>05</sub> for private differences – 0.32 t/ha.

Важным показателем эффективности работы корневой системы является коэффициент продуктивности ( $K_{\text{прод}}$ ), определяемый отношением надземной растительной массы (зерно + солома) к массе корневой системы. Чем больше это отношение, тем эффективнее работа корневой системы на формирование надземной массы. В наших исследованиях увеличение норм минеральных удобрений с  $N_{120}P_{45}$  (контроль) до  $N_{280}P_{105}$  повышает коэффициент продуктивности с 3,95 (контроль) до 4,58.

То, что возможная потенциальная продуктивность современных сортов реализуется не в полной мере, во многом зависит от фотосинтетической деятельности посевов. Поэтому разработка приемов, направленных на увеличение площади и продолжительности работы ассимиляционного аппарата, является актуальным направлением (таблица 2).

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что повышение уровня минерального питания приводит к росту ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы на 34,9 %, что обеспечивает улучшение основных показателей фотосинтетической деятельности: ФП – на 36,8 %, ЧПФ – на 39,5 %, СПП – на 88,2 %, ЭРЛ – на 27,6 %. Главным и обобщающим показателем фотосинтетической деятельности посевов любой культуры является определение коэффициента полезного действия фотосинтетической радиации (КПД ФАР), который самым высоким был при внесении  $N_{240}P_{90}$  и  $N_{280}P_{105}$  – 2,87 и 3,23 % соответственно.

Урожай зерна является результатом фотосинтетической деятельности посевов различных сортов озимой мягкой пшеницы и уровней планируемой урожайности (таблица 3).

В среднем за три года исследований сортом Гром (контроль) был достигнут планируемый уровень урожайности 4 т/га, а остальные уровни не были достигнуты (–6,2...–16,9 %). Три уровня урожайности (4, 5 и 6 т/га) были достигнуты сортами Московская 39 и Немчиновская 85, невыполнение уровня 7 и 8 т/га составило –3,7...–4,4 % по сорту Немчиновская 85 и –7,0...–8,9 % по сорту Московская 39. Только по перспективному сорту Московская 27 и сорту Московская 56 были достигнуты все запланированные уровни урожайности, при этом максимальное превышение было по сорту Московская 27 (+7,1 %).

Наряду с урожайностью важным показателем при сравнительной оценке сортов и уровней планируемой урожайности является качество зерна, которое должно удовлетворять потребителей своей пищевой ценностью. Пищевую ценность зерна определяет массовая доля протеина и сырой клейковины, которую устанавливали на ИК-анализаторе SpectraStar 2600 ХТ. Эти показатели являются приоритетными при определении класса зерна. В соответствии с ГОСТ процент протеина рассчитывали на абсолютно сухое вещество. Результаты определения основных показателей качества отражены в таблице 4.

Таблица 4  
 Качество зерна сортов озимой пшеницы

Сорта	Протеин, %	Клейковина, %	Крахмал, %	Натура, г/л	Стекловидность, %	ИДК	Седиментация, мл
Гром, контроль	13,8	26,8	58,5	785	60	101	52
Московская 27	13,3	24,5	58,8	766	48	104	60
Московская 39	13,6	24,4	60,6	775	54	95	44
Московская 56	14,3	25,9	59,6	795	45	90	65
Немчиновская 85	14,2	25,9	59,2	800	45	96	66
НСР <sub>05</sub>	0,38	0,71	1,78	23,5	1,5	3,0	1,7

Table 4  
 Grain quality of winter wheat varieties

Varieties	Protein, %	Gluten, %	Starch, %	Grain unit, g/l	Glassiness, g/l	Gluten strain gauges	Sedimentation, ml
<i>Grom, control</i>	13.8	26.8	58.5	785	60	101	52
<i>Moskovskaya 27</i>	13.3	24.5	58.8	766	48	104	60
<i>Moskovskaya 39</i>	13.6	24.4	60.6	775	54	95	44
<i>Moskovskaya 56</i>	14.3	25.9	59.6	795	45	90	65
<i>Nemchinovskaya 85</i>	14.2	25.9	59.2	800	45	96	66
<i>LSD<sub>05</sub></i>	0.38	0.71	1.78	23.5	1.5	3.0	1.7

По нашим данным зерно сортов Московская 56 и Немчиновская 85 по содержанию белка относятся к сильным пшеницам, а зерно остальных сортов – к ценным пшеницам. Что касается содержания клейковины, то все сорта относятся к ценным по качеству. Отношение клейковины к протеину, которое зависит от погодных условий, у всех сортов находилось практически на одном уровне, в пределах 1,8–1,9. По натуре зерна зерно всех сортов озимой пшеницы относится к 1–2 классу. По показателю стекловидности только сорт Гром соответствовал 1–2 классу, тогда как остальные сорта имели стекловидность на уровне филлера. Чем ниже значение ИДК (индекс деформации клейковины), тем клейковина прочнее и лучше ее качество, однако все сравниваемые сорта относятся ко II группе (удовлетворительная), так как содержание ИДК находится в диапазоне 80–104 ед. Результаты седиментации, определяемой по методу Зелени, показали, что зерно сортов Немчиновская 85 и Московская 56 имеют очень высокое качество, а зерно сорта Московская 27 – высокое качество. Зерно сортов Гром и Московская 39 характеризуется средним уровнем качества.

Существенное влияние на качественные показатели зерна всех сортов оказали применяемые нормы минеральных удобрений, рассчитанных на получение 5–8 т зерна с гектара (таблица 5).

Повышение норм вносимых удобрений способствовало повышению содержания белка на 14,7 %, а при применении норм N<sub>200</sub>P<sub>75</sub> и выше, зерно относится к 1 классу. На 15,3 % возросло содержа-

ние клейковины, соответствуя зерну 2 класса, при этом отмечена тенденция снижения содержания крахмала на 1,5 %. Повышение норм минеральных удобрений положительно сказалось на стекловидности зерна, которая при внесении N<sub>240</sub>P<sub>90</sub> и N<sub>280</sub>P<sub>105</sub> повысилась до уровня 1 класса. Отмечена заметная корреляционная зависимость между содержанием протеина и ИДК ( $r = 0,848$ ), содержанием протеина и седиментацией ( $r = 0,767$ ).

Агрономическую эффективность применяемых норм минеральных удобрений за годы исследований оценивали через показатель окупаемости минерального удобрения прибавкой урожая (таблица 6).

Повышение норм минеральных удобрений способствовало не только увеличению прибавки урожая с 17,5 до 71,5 %, но и увеличению доли минеральных удобрений в формировании урожайности зерна озимой пшеницы. В частности, при внесении нормы N<sub>160</sub>P<sub>60</sub>, рассчитанной на получение 5 т/га зерна, доля удобрений в получении урожая составила 14,9 %, а с повышением нормы удобрений до N<sub>280</sub>P<sub>105</sub> эффект от удобрений увеличился в 2,8 раза и составил 41,7 %. Расчет окупаемости прибавки урожая минеральным удобрением показал, что на 1 кг д. в. внесенного минерального удобрения получено 14,2–15,4 кг зерна озимой пшеницы.

Экономическую эффективность вносимых норм минеральных удобрений рассчитывали исходя из их стоимости, затрат на доставку на поле и внесение, а также уборку и перевозку дополнительного урожая зерна (таблица 7).

Таблица 5  
Качество зерна озимой пшеницы в зависимости от уровней планируемой урожайности

Нормы минеральных удобрений, кг д. в.	Протеин, %	Клейковина, %	Крахмал, %	Натура, г/л	Стекловидность, %	ИДК	Седиментация, мл
$N_{120}P_{45}$ контроль	13,6	25,5	59,3	785	51	97	47
$N_{160}P_{60}$	14,1	26,1	58,9	786	53	99	60
$N_{200}P_{75}$	14,5	26,6	58,6	775	55	91	49
$N_{240}P_{90}$	15,1	27,9	58,2	801	60	85	68
$N_{280}P_{105}$	15,6	29,4	57,8	795	62	88	65
$HCP_{05}$	0,42	0,82	1,74	23,9	1,7	2,7	1,9

Table 5  
Grain quality of winter wheat depending on the planned yield levels

Norms of mineral fertilizers, kg a. s.	Protein, %	Gluten, %	Starch, %	Grain unit, g/l	Glassiness, g/l	Gluten deformation index	Sedimentation, ml
$N_{120}P_{45}$ control	13.6	25.5	59.3	785	51	97	47
$N_{160}P_{60}$	14.1	26.1	58.9	786	53	99	60
$N_{200}P_{75}$	14.5	26.6	58.6	775	55	91	49
$N_{240}P_{90}$	15.1	27.9	58.2	801	60	85	68
$N_{280}P_{105}$	15.6	29.4	57.8	795	62	88	65
$LSD_{05}$	0.42	0.82	1.74	23.9	1.7	2.7	1.9

Таблица 6  
Агрономическая эффективность применения норм минеральных удобрений (2021–2023 годы)

Нормы минеральных удобрений, кг д. в.	Средняя урожайность, т/га	Прибавка урожая зерна		Доля участия удобрений в урожае зерна, %	Окупаемость прибавки урожая удобрением, кг/кг д. в.
		т/га	%		
$N_{120}P_{45}$ контроль	4,46	–	–	–	–
$N_{160}P_{60}$	5,24	0,78	17,5	14,9	14,2
$N_{200}P_{75}$	6,15	1,69	37,9	27,5	15,4
$N_{240}P_{90}$	6,91	2,45	54,9	35,4	14,8
$N_{280}P_{105}$	7,65	3,19	71,5	41,7	14,5

Table 6  
Agronomic efficiency of application of mineral fertilizers (2021–2023)

Norms of mineral fertilizers, kg a. i.	Average yield, t/ha	Increase in grain yield		Fertilizer share in grain yield, %	Payback of yield increase with fertilizer, kg/kg a. i.
		t/ha	%		
$N_{120}P_{45}$ control	4.46	–	–	–	–
$N_{160}P_{60}$	5.24	0.78	17.5	14.9	14.2
$N_{200}P_{75}$	6.15	1.69	37.9	27.5	15.4
$N_{240}P_{90}$	6.91	2.45	54.9	35.4	14.8
$N_{280}P_{105}$	7.65	3.19	71.5	41.7	14.5

Как видно из таблицы 7, применение минеральных удобрений увеличивает затраты на их применение по сравнению с контролем на 5,67–22,68 тыс. руб/га. Полученная урожайность компенсирует затраты на их применение и обеспечивает прибыль в диапазоне 2,91–12,41 тыс. руб/га. Максимальная прибыль – на вариантах, рассчитанных на получение 7–8 т/га зерна. Расчет окупаемости вне-

сения минеральных удобрений показал, что все варианты экономически оправданы, но лучшие показатели получены при внесении  $N_{200}P_{75}$  и  $N_{240}P_{90}$ , где определена максимальная отдача на рубль затраченных средств (1,63–1,64 руб.). На этих же вариантах получена самая низкая себестоимость производства 1 кг прибавочного урожая – 6,71–6,74 руб/кг зерна.



## Экономическая эффективность применения расчетных норм минеральных удобрений под планируемый урожай озимой пшеницы

Нормы минеральных удобрений, кг д. в.	Средняя урожайность, т/га	Стоимость прибавки урожая, тыс. руб/га	Стоимость затрат на удобрения, тыс. руб/га	Прибыль от внесения удобрений, тыс. руб/га	Окупаемость внесения удобрений, руб/руб	Себестоимость 1 кг прибавки урожая, руб/кг
$N_{120}P_{45}$ , контроль	4,46	–	–	–	–	–
$N_{160}P_{60}$	5,24	8,58	5,67	2,91	1,51	7,27
$N_{200}P_{75}$	6,15	18,59	11,34	7,25	1,64	6,71
$N_{240}P_{90}$	6,91	26,95	16,53	10,42	1,63	6,74
$N_{280}P_{105}$	7,65	35,09	22,68	12,41	1,55	7,11

Table 7  
Economic efficiency of application of calculated rates of mineral fertilizers for the planned harvest of winter wheat

Norms of mineral fertilizer, kg a. i.	Average yield, t/ha	Cost of yield increase, thousand rubles/ha	Cost of expenses for fertilizers, thousand rubles/ha	Profit from application of fertilizers, thousand rubles/ha	Payback period for application of fertilizers, rubles/rubles	Cost price of 1 kg of yield increase, rubles/kg
$N_{120}P_{45}$ , control	4.46	–	–	–	–	–
$N_{160}P_{60}$	5.24	8.58	5.67	2.91	1.51	7.27
$N_{200}P_{75}$	6.15	18.59	11.34	7.25	1.64	6.71
$N_{240}P_{90}$	6.91	26.95	16.53	10.42	1.63	6.74
$N_{280}P_{105}$	7.65	35.09	22.68	12.41	1.55	7.11

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

1. Среди изучаемых сортов озимой мягкой пшеницы наиболее урожайными оказались перспективный сорт Московская 27 (6,81 т/га) и сорт Московская 56 (6,35 т/га).

2. На этих же сортах были достигнуты все запланированные уровни урожайности от 5 до 8 т/га), а на сортах Московская 39 и Немчиновская 85 были достигнуты три уровня урожайности – 4, 5 и 6 т/га.

3. По комплексу показателей наиболее ценное по качеству зерно получено сортами Немчиновская

85 и Московская 56, а применение удобрений нормой  $N_{240}P_{90}$  и  $N_{280}P_{105}$  обеспечило получение зерна 1 и 2 класса.

4. Расчеты агрономической и экономической эффективности применения минеральных удобрений показали, что наиболее целесообразно применение норм  $N_{200-240}P_{75-90}$ , обеспечивающих высокую окупаемость 1 кг д. в. прибавкой урожая 14,8 кг зерна при максимальной отдаче на рубль затраченных средств и наименьшей себестоимости производства 1 кг зерна прибавочного урожая – 6,71–6,74 руб.

**Библиографический список**

1. Сельское хозяйство в России. 2023: статистический сборник. Москва: Росстат, 2023. 103 с.
2. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. Москва: Российская академия наук, 2019. 328 с.
3. Агеев В. В., Есаулко А. Н., Сычев В. Г. [и др.] Вклад многолетнего стационара «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафте» в фундаментальные и прикладные разработки агрохимии (длительный опыт геосети РАН) // Агрохимический вестник. 2018. № 4. С. 14–20. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10020.
4. Бамагов И. М., Перевертин А. К., Абасов Ш. М. [и др.] Влияние биополимерной модификации минеральных удобрений на продуктивность зерна озимой пшеницы и основные элементы плодородия почвы // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 39–43. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/39-43.
5. Гуреев И. И., Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А., Прущик И. А. Урожайность озимой пшеницы и плодородие почвы в условиях Центрально-Черноземного региона // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 5. С. 22–27. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10503.
6. Курбанов С. А., Магомедова Д. С. Влияние доз минеральных удобрений и приемов основной обработки почвы на урожайность зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2023. № 4 (133). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.05.

7. Емельянова А. А., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я., Логвинова Е. В. Изменение урожайности и качества зерна озимой пшеницы в зависимости от сорта и доз минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 11. С. 26–30. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_11\_26.
8. Теймуров С. А., Казиев М.-Р. А., Ибрагимов К. М. Урожай и качество зерна озимой пшеницы в сухостепной зоне Дагестана // Плодородие. 2023. № 3 (132). С. 59–63. DOI: 10.25680/S19948603.2023.132.15.
9. Мнатсаканян А. А. Пролонгированные удобрения в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях Краснодарского края // Земледелие. 2023. № 3. С. 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-3-27-31.
10. Тедеева А. А., Тедеева В. В. Эффективность применения минеральных удобрений и гербицидов на посевах озимой пшеницы // Аграрная наука. 2023. № 10. С. 95–99. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-95-99.
11. Шафран С. А. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы // Агрохимия. 2020. № 2. С. 20–27. DOI: 10.31857/S0002188120020143.
12. Аканова Н. И., Винничек Л. Б., Жданов В. Ю. [и др.] Оценка экономической эффективности системы применения минеральных удобрений при разных методах расчета потребности // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 85–88. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12038.
13. Курбанов С. А., Магомедова Д. С., Велиев Т. Р. Урожайность и адаптивность сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от применения биопрепаратов // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 4 (52). С. 93–97. DOI: 10.52671/20790996\_2022\_4\_93.
14. Ёдгоров Н. Ф. Влияние системы орошения и норма минеральных удобрений на фазу колошения озимой пшеницы // Life Sciences and Agriculture. 2020. № 2–3 (7). С. 83–86. DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10100.
15. Voronov S., Pleskachiov Y., Kurbanov S., Magomedova D., Zargar M. Tillage system and seeding rate impact on yield, oil accumulation and photosynthetic potential of different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Southern Russia // Agronomy. 2022. Vol. 12. Article number 2904. DOI: 10.3390/agronomy12112904.
16. Petukhov D. A., Ivanov A. B., Bondarenko E. V., et al. The efficiency of the differentiated application of mineral fertilizers in the production technology of winter wheat cultivation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. 2021. Vol. 723, No. 3. Article number 032042. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032042.

#### Об авторах:

**Арсен Ильмияминович Магомедов**, аспирант кафедры земледелия, почвоведения и мелиорации, Дагестанский государственный аграрный университет, Махачкала, Россия; ORCID 0000-0003-1076-3370, AuthorID 725216. *E-mail: arsen.magomedov05@mail.ru*

**Сераятдин Аминович Курбанов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия, почвоведения и мелиорации, Дагестанский государственный аграрный университет, Махачкала, Россия; ORCID 0000-0001-9390-5180, AuthorID 361639. *E-mail: kurbanovsa@mail.ru*

**Диана Султановна Магомедова**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, главный научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия; ORCID 0000-0002-7559-2456, AuthorID 629342. *E-mail: mds-agro@mail.ru*

#### References

1. *Agriculture in Russia. 2023: Statistical collection*. Moscow: Rosstat. 2023. 103 p. (In Russ.)
2. Sychev V. G. *The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation*. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2019. 328 p. (In Russ.)
3. Ageev V. V., Esaulko A. N., Sychev V. G., et al. Contribution of the multi-year stationary “Theoretical and technological foundations of biogeochemical flows of substances in agrolandscape” to fundamental and applied developments of agrochemistry (long-term experience of the Geo-Network of the RAS). *Agrochemical Herald*. 2018; 4: 14–20. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10020. (In Russ.)
4. Bamatov I. M., Perevertin A. K., Abasov Sh. M., et al. The influence of biopolymer modification of mineral fertilizers on the productivity of winter wheat grains and the main elements of soil fertility. *Bulletin of Russian Agricultural Science*. 2022; 6: 39–43. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/39-43. (In Russ.)
5. Gureev I. I., Nitchenko L. B., Lukyanov V. A., Pruschchik I. A. Winter wheat yield and soil fertility under conditions of the Central Chernozem region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2021; 5 (35): 22–27. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10503. (In Russ.)
6. Kurbanov S. A., Magomedova D. S. Influence of mineral fertilizer norms and techniques basic tillage for yield winter soft wheat grains. *Plodorodie*. 2023; 4 (133): 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.05. (In Russ.)

7. Emelyanova A. A., Dubovik D. V., Aydiev A. Ya., Logvinova E. V. Changes in the yield and quality of winter wheat grain depending on the variety and doses of mineral fertilizers. *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2022; 11 (36): 26–30. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_11\_26. (In Russ.)
8. Teymurov S. A., Kaziev M.-R. A., Ibragimov K. M. The main indicators of biometrics and quality of winter wheat grain in the dry steppe zone of Dagestan. *Plodorodie*. 2023; 3 (132): 59–63. DOI: 10.25680/S19948603.2023.132.15. (In Russ.)
9. Mnatsakanyan A. A. Slow-release fertilizers in the technology of winter wheat cultivation under the conditions of the Krasnodar Territory. *Zemledelie*. 2023; 3: 27–31. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-3-27-31. (In Russ.)
10. Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. Efficiency of using mineral fertilizers and herbicides on winter wheat crops. *Agrarian Science*. 2023; 10: 95–99. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-375-10-95-99. (In Russ.)
11. Shafran S. A. Recouplement of expenses on application of nitrogen fertilizers in winter wheat top dressing. *Agricultural Chemistry*. 2020; 2: 20–27. DOI: 10.31857/S0002188120020143. (In Russ.)
12. Akanova N. I., Vinnichuk L. B., Zhdanov V. Yu., et al. Cost-effectiveness assessment of the system of using mineral fertilizers in production conditions. *International Agricultural Journal*. 2020; 2: 85–88. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12038. (In Russ.)
13. Kurbanov S. A., Magomedova D. S., Veliev T. R. Productivity and adaptability of the winter soft wheat varieties depending on the growth regulators application. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*. 2022; 4 (52): 93–97. DOI: 10.52671/20790996\_2022\_4\_93. (In Russ.)
14. Edgorov N. G. The influence of the irrigation system and the norms of mineral fertilizers on the earing phase of winter wheat. *Agriculture and Life Sciences*. 2020; 2-3 (7): 83–86. DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10100. (In Russ.)
15. Voronov S., Pleskachiov Y., Kurbanov S., Magomedova D., Zargar M. Tillage system and seeding rate impact on yield, oil accumulation and photosynthetic potential of different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Southern Russia. *Agronomy*. 2022; 12: 2904. DOI: 10.3390/agronomy12112904.
16. Petukhov D. A., Ivanov A. B., Bondarenko E. V., et al. The efficiency of the differentiated application of mineral fertilizers in the production technology of winter wheat cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture*. 2021; 723 (3): 032042. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032042.

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

**Arsen I. Magomedov**, postgraduate of the department of agriculture, soil science and land reclamation, Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia;

ORCID 0000-0003-1076-3370, AuthorID 725216. *E-mail: arsen.magomedov05@mail.ru*

**Serazhutdin A. Kurbanov**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of agriculture, soil science and land reclamation, Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia; ORCID 0000-0001-9390-5180, AuthorID 361639. *E-mail: kurbanovsa@mail.ru*

**Diana S. Magomedova**, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Federal Agricultural Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia; ORCID 0000-0002-7559-2456, AuthorID 629342. *E-mail: mds-agro@mail.ru*

## Влияние ассоциаций *Funneliformis mosseae* на растения огурца обыкновенного в модельных условиях

С. Ф. Абдурашитов<sup>1</sup>✉, Ф. С. Беялова<sup>2</sup>, А. В. Ивашов<sup>2</sup>, Э. Р. Абдурашитова<sup>1</sup>, А. И. Алексеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

<sup>2</sup> Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

✉ E-mail: [asuleyman83@rambler.ru](mailto:asuleyman83@rambler.ru)

**Аннотация.** Цель – изучить влияние новых ассоциаций грибов арбускулярной микоризы (АМ) на особенности развития симбиоза у огурца обыкновенного с разными штаммами и на рост и развитие растений. **Методы.** Эксперимент проводили в горшечной культуре с неорганическим субстратом с добавлением в качестве единственного источника фосфора ортофосфата кальция. В работе использовали ассоциации грибов АМ *Funneliformis mosseae* S1-4, *F. mosseae* 1-16 и *F. mosseae* 5-16, а также *Cucumis sativus* L. сорта Бьерн F1. **Результаты.** Отмечено, что огурец к формированию АМ подходит избирательно, так как по сравнению с ассоциациями *F. mosseae* S1-4 и 5-16, ассоциация 1-16 интенсивнее колонизировала корни (частота встречаемости микоризной колонизации – 68,9 %, обилие арбускул – 44,2 %). Исследование показало, что колонизация корней *C. sativus* новыми ассоциациями грибов АМ положительно действует на продуктивность растений, увеличивая массу корневой системы на 83,3 %, а массу побегов – на 18,0–24,2 % по сравнению с контролем без обработки. Активизация ростовых процессов растений способна повысить биологическую активность в их ризосфере, создав благоприятные условия для развития микроорганизмов, на что указывает возрастание эмиссии углекислого газа на 23,7–43,5 % по сравнению с контролем. **Научная новизна.** Раскрыты особенности формирования АМ у *C. sativus*, зависящие от применяемой ассоциации. Проанализировано агро- и биохимическое состояние огурца, изменяющееся под действием АМ и положительно влияющее на продуктивность растений. Ассоциация *F. mosseae* 1-16 рекомендована для применения в биотехнологии выращивания огурца.

**Ключевые слова:** огурец посевной, арбускулярная микориза, интенсивность микоризной колонизации, обилие арбускул, эмиссия CO<sub>2</sub>, пролин, содержание фосфора, содержание калия, продуктивность растений

**Для цитирования:** Абдурашитов С. Ф., Беялова Ф. С., Ивашов А. В., Абдурашитова Э. Р., Алексеева А. И. Влияние ассоциаций *Funneliformis mosseae* на растения огурца обыкновенного в модельных условиях // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 402–411. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-402-411>.

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNZW-2022-0006. В работе использовано оборудование НИЛ «Молекулярная и клеточная биофизика» Института перспективных исследований Севастопольского государственного университета.

**Дата поступления статьи:** 25.09.2024, **дата рецензирования:** 26.11.2024, **дата принятия:** 27.01.2025.

## Effect of *Funneliformis mosseae* associations on *Cucumis sativus* L. plants under model conditions

S. F. Abdurashitov<sup>1</sup>✉, F. S. Belyalova<sup>2</sup>, A. V. Ivashov<sup>2</sup>, E. R. Abdurashitova<sup>1</sup>, A. I. Alekseeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

<sup>2</sup> V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

✉ E-mail: [asuleyman83@rambler.ru](mailto:asuleyman83@rambler.ru)

**Abstract. The purpose.** The study aims to investigate the influence of new arbuscular mycorrhiza (AM) fungi associations on the symbiosis development peculiarities in cucumber with different strains and plant growth and development. **Methods.** The experiment was conducted in pot culture with inorganic substrate with addition of calcium orthophosphate as the only source of phosphorus. Associations of AM fungi *Funneliformis mosseae* S1-4, *F. mosseae* 1-16 and *F. mosseae* 5-16, as well as *Cucumis sativus* L. variety Bjorn F1 were used. **Results.** It was



observed that cucumber was selective to AM formation, as association 1-16 colonized roots more intensively with mycorrhizal colonization frequency of 68.9 % and arbuscule abundance of 44.2 % compared to associations *F. mosseae* S1-4 and *F. mosseae* 5-16. The study showed that colonization of *C. sativus* roots by new associations of AM fungi has a positive effect on plant productivity increasing root system mass by 83.3 % and shoot mass by 18.0–24.2 % compared to the control without treatment. Activation of plant growth processes is able to increase biological activity in their rhizosphere, creating favourable conditions for the development of microorganisms, as indicated by the increase in carbon dioxide emission by 23.7–43.5 % compared to the control. **Scientific novelty.** The peculiarities of AM formation in *C. sativus* depending on the applied association have been revealed. Agro- and biochemical state of cucumber changing under the influence of AM and positively affecting plant productivity was analyzed. The association *F. mosseae* 1-16 is recommended for application in biotechnology of cucumber cultivation.

**Keywords:** cucumber, arbuscular mycorrhiza, intensity of mycorrhizal colonization, abundance of arbuscules, CO<sub>2</sub> emission, proline, phosphorus content, potassium content, plant productivity

**Acknowledgements.** The research was carried out within the framework of the state assignment No. FNZW-2022-0006. The equipment of the Research Laboratory “Molecular and Cellular Biophysics” of the Institute of Advanced Studies of Sevastopol State University was used in the study.

**For citation:** Abdurashitov S. F., Belyalova F. S., Ivashov A. V., Abdurashitova E. R., Alekseeva A. I. Effect of *Funneliformis mosseae* associations on *Cucumis sativus* L. plants under model conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 402–411. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-402-411>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 25.09.2024, **date of review:** 26.11.2024, **date of acceptance:** 27.01.2025.

#### Постановка проблемы (Introduction)

Биопрепараты признаны альтернативой химическим удобрениям для сохранения плодородия почвы и увеличения урожайности в условиях устойчивого земледелия и развития биотехнологий. В связи с этим обычные способы ведения сельского хозяйства преобразуются в агроэкологические методы, которые лучше учитывают биологические механизмы и предохраняют экосистемы. Агроэкология пропагандирует технологии ведения сельского хозяйства с помощью разнообразных почвенных микроорганизмов, одними из которых являются грибы арбускулярной микоризы (АМ) [1; 2].

Грибы арбускулярной микоризы (АМ) являются широко распространенными симбионтами растений и значительными экологическими партнерами в агроэкосистемах. Образую внутрикорневые симбиотические структуры, они способствуют усвоению минеральных питательных веществ, таких как фосфор, калий, кальций, азот, сера и другие, из почвы и обмену ими с растениями [3]. Согласно исследованиям, грибы АМ разных видов имеют различную способность и направленность к передаче поглощенных элементов питания к растениям-симбионтам, зависящим и от степени микоризации. Арбускулярные микоризные грибы в основном состоят из гиф мицелия, арбускул и везикул в корнях, а также гиф и спор в почве<sup>1</sup>. Они могут образовывать огромную сеть гиф в ризосфере растений, что не только способствует их росту, повышению урожайности и качества продукции, но и улучшает

физические и химические свойства почвы, а также усвоение питательных веществ [4].

Калий является одним из наиболее важных питательных элементов растений, составляя от 2 % до 10 % сухой массы растений, и играет роль во многих фундаментальных физиологических и биохимических процессах. Фосфор имеет решающее значение для нормального роста и развития растений. Часто эти вещества присутствуют в почве в относительно больших количествах, но с низкой биодоступностью из-за комплексообразования с металлами. Наземные растения выработали две специализированные стратегии увеличения поглощения неорганического калия и фосфора из почв [5]. Первый заключается в прямом поглощении растворимого фосфора через клетки эпидермиса корня и корневые волоски. Вторая стратегия использует мутуалистические симбионты, такие как микоризы и фосфоролубилизирующие бактерии, для увеличения поглощающей поверхности корневой системы [6–8]. Следует отметить, что прямое поглощение фосфора через корни требует большего вложения растительных ресурсов, чем приобретение фосфора симбионтами [8].

Среди овощных культур виды из семейств пасленовые, тыквенные, лилейные и некоторых других легко образуют арбускулярную микоризную ассоциацию, за исключением крестоцветных, маревых и амарантовых, которые не могут или с меньшей вероятностью будут колонизированы. Различными исследователями показано положительное воздействие микоризных грибов на рост и физиологию ряда овощных и других культур. Так, под дей-

<sup>1</sup> Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal symbiosis. 3rd ed. London: Academic Press, 2008. 804 p.

ствием биопрепаратов на основе различных штаммов грибов АМ из родов *Funneliformis*, *Glomus*, *Rhizophagus*, *Claroideoglomus* и *Gigaspora* выявлена прибавка товарного урожая у перца сладкого в условиях органического способа ведения хозяйства, а также лука репчатого и томата при традиционном способе выращивания [9–11]. Дополнительный эффект от микоризации растений – это уменьшение пораженности патогенными заболеваниями, в частности, вершинной гнилью [9]. На растениях из семейства *Cucurbitaceae* микоризацию грибами АМ применяли на дынях, огурцах и других культурах [12; 13]. В литературе инокуляция АМГ различаются не только у разных видов макросимбионтов, но и у штаммов микросимбионтов [14; 15]. Следовательно, необходимо изучение механизмов взаимодействия растений и грибов АМ для извлечения наибольшего обоюдовыгодного сотрудничества между ними.

Цель настоящего исследования – определение влияния новых ассоциаций *Funneliformis mosseae* на формирование микоризной колонизации *Cucumis sativus*, поглощение фосфора и калия и развитие растений в модельных условиях.

#### Методология и методы исследования (Methods)

В работе использовали ассоциации грибов АМ из Крымской коллекции микроорганизмов ФГБУН НИИСХ Крыма (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484>): ассоциация-референт *Funneliformis mosseae* S1-4<sup>2</sup>, новые перспективные ассоциации *F. mosseae* 1-16 и *F. mosseae* 5-16, выделенные из ризосферы пшеницы озимой на черноземе южном и подсолнечника на лугово-каштановой почве соответственно<sup>3</sup>. Для выявления наиболее продуктивных ассоциаций использовали наиболее распространенный у товаропроизводителей закрытого грунта огурец сорта Бьёрн F1 (селекции Enza Zaden, Голландия) и анализировали по ряду морфологических и биохимических показателей.

Вегетационный опыт проводили в горшечной культуре в пластиковых сосудах объемом 0,5 л<sup>4</sup>. Субстратом служила стерильная смесь песка и вермикулита (1 : 1 по объему) с добавлением ортофосфата кальция (1 г на 1 кг субстрата). Полив осуществляли питательным раствором Хогланда без дигидрофосфата калия<sup>5</sup>. В каждом сосуде выращивали по одному растению. Инокулом грибов АМ с

нагрузкой не менее чем 20 колонизирующих единиц на семя вносили в субстрат (на 1 см ниже уровня семян). Растения выращивали в условиях искусственного освещения 20 клк с фотопериодом 16/8 часов (день/ночь). Оценку микоризации и влияния на морфометрические данные растений проводили через 60 суток после получения всходов. Во всех вариантах соблюдали пятикратную повторность.

Визуализацию развития микоризы проводили окрашиванием отрезков корней черными чернилами по Х. Вирхейлигу с соавторами<sup>6</sup>. Окрашивание проводилось строго по методике. Окрашенные отрезки корней (1 см) выкладывались на предметные стекла и оценивали под стереомикроскопом МСП-2 (Ломо, Россия). Количественную оценку микоризации проводили по методике Травло, описанной в методических рекомендациях Н. М. Лабутовой<sup>7</sup>.

Площадь листовой поверхности определяли методом высечек согласно практикуму под редакцией Н. Н. Третьякова<sup>8</sup>. Отбирали среднюю пробу из 10 листьев, делали высечки пробочным сверлом диаметром 10 мм, взвешивали на аналитических весах Pioneer PR224 (Ohaus, Китай).

Дыхание в ризосфере определяли по интенсивности выделения углекислого газа титриметрическим методом в модификации Б. Н. Макарова<sup>9</sup>. Отбирали среднюю пробу ризосферного субстрата (5 г), помещали в стеклянную вialу, которую опускали в стеклянный флакон с 1 М раствора гидроксида натрия (20 мл). Систему сосудов с ризосферой инкубировали при 27 °С. По прошествии 5 суток вialу убирала, а к раствору приливали 50-процентный раствор хлорида бария (5 мл) и несколько капель спиртового раствора фенолфталеина. Накопление углекислого газа детектировали по нейтрализации образовавшегося гидроксида бария 0,1 н соляной кислотой на полуавтоматическом титраторе Biotrate 50 (Sartorius Corporate, Финляндия). Эмиссию CO<sub>2</sub> вычисляли в сравнении с холостой пробой без ризосферы.

Определение содержания свободного пролина в листьях растений проводили по модифицированной методике Г. Н. Шихалеевой<sup>10</sup>. Для этого из свежих листьев огурца отбирали среднюю пробу с каждого растения по 200 мг, мелко нарезали и помещали в

<sup>6</sup> Vierheilig H., Coughlan A. P., Wyss U., Piché Y. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi // Applied and Environmental Microbiology. 1998. Vol. 64 (12). Pp. 5004–5007.

<sup>7</sup> Лабутова Н. М. Методы исследования арбускулярных микоризных грибов. Санкт-Петербург: Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2000. 24 с.

<sup>8</sup> Практикум по физиологии растений / Под ред. Н. Н. Третьякова. 3-е изд. Москва: Агропромиздат, 1990. 271 с.

<sup>9</sup> Методические рекомендации по оценке токсического действия пестицидов на микрофлору почвы / Под общим руководством Ю. В. Круглова. Ленинград: Б. и., 1981. 42 с.

<sup>10</sup> Шихалеева Г. Н., Будняк А. К., Шихалеев И. И., Иващенко О. Л. Модифицирована методика визначення проліну в рослинних об'єктах // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія. 2014. Вип. 21, № 1112. С. 168–172.

<sup>2</sup> Абдурашитов С. Ф., Волгогон В. В. Вплив способів застосування микоризних грибів на продуктивність поживної сої // Збалансоване природокористування. 2015. № 3. С. 46–50.

<sup>3</sup> Абдурашитов С. Ф., Алексеенко Н. В. Развитие арбускулярной микоризы в рисовых чеках в условиях отсутствия орошения // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 1 (9). С. 9–14.

<sup>4</sup> Лабутова Н. М. Методы исследования арбускулярных микоризных грибов. Санкт-Петербург: Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2000. 24 с.

<sup>5</sup> Hoagland D. R., Arnon D. I. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station, 1950. Circular 347. 32 p.

пробирки на 20 мл, заливали дистиллированной водой, предварительно нагретой до 100 °С, в количестве 10 мл и выдерживали в течение 10 минут на водяной бане. После выдерживания водный экстракт (2 мл) приливали к заранее приготовленному нингидриновому реактиву (2 мл) и ледяной уксусной кислоте (2 мл) и вновь инкубировали при 100 °С (20 минут). Полученную смесь быстро охлаждали под проточной водой. Изменения оптической плотности измеряли на спектрофотометре FlexA-200 (Allsheng, Китай) при длине волны 520 нм в плоскодонном микропланшете (Greiner, Германия).

Определение фосфора и калия проводили по методу Кьельдаля (ГОСТ 26715 «Удобрения органические. Методы определения общего азота»). Сжигание средней пробы (1 г) проводили на приборе LK-100 (LOIP, Россия) под действием серной кислоты (20 мл) и 33-процентной перекиси водорода (8 мл). Сжигание проводили до полного осветления. Для определения фосфора к выжженной пробе (2 мл) приливали реактив Б (состоящий из молибденовокислого аммония, сурьмяновиннокислого калия, серной кислоты и аскорбиновой кислоты – согласно методике) в количестве 50 мл (ГОСТ 26717-85 «Удобрения органические. Метод определения общего фосфора»). Оптическую плотность полученного раствора определяли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (Экротхим, Россия) с длиной волны 710 нм. Содержание  $P_2O_5$  определяли по стандартному раствору калия фосфорнокислого однозамещенного. Для определения содержания калия разведенный выжженный раствор сжигали (ГОСТ 26718-85 «Удобрения органические. Метод определения общего калия») в пламенном фотометре ФЛАФО-4 (Carl Zeiss Jena, Германия), в качестве стандарта использовали калий фосфорнокислый однозамещенный.

Анализ содержания хлорофиллов *a* и *b* проводили с помощью их спиртовой экстракции из листовых пластинок. Для этого делали среднюю пробу (200 мг): только что сорванные листья нарезают мелкими кусочками и заливали 10 мл 96-процентного этилового спирта<sup>11</sup>. После экстрагирования в течение 3 суток в темноте при комнатной температуре содержание пигментов определяли спектрофотометрически на приборе FlexA-200 (Allsheng, Китай) при длинах волн 664 нм и 648 нм и рассчитывали по формулам, указанным в патенте.

Постановка вегетационного опыта и статистический анализ полученных результатов проведены по Б. А. Доспехову<sup>12</sup>. Все параметры рассчитаны

<sup>11</sup> Патент № 2244916 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/25, С09В 61/00. Способ определения хлорофилла в растениях гречихи / В. Т. Лобков, Г. В. Наполова. № 2003120313/04 : заявл. 02.07.2003 : опубл. 20.01.2005 ; заявитель Орловский государственный аграрный университет (ОГАУ).

<sup>12</sup> Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 352 с.

в виде среднего показателя и стандартной ошибки средней ( $\bar{x} \pm m_x$ ) с выборкой  $n = 5 \dots 8$  в зависимости от показателя. Значимость различий определяли с помощью дисперсионного анализа согласно апостериорному тесту Дункана или непараметрическому критерию Краскела – Уоллиса в программе IBM SPSS Statistics (Demo). Корректность применения дисперсионного анализа оценивали по критерию нормальности Колмогорова – Смирнова и тесту Левена на гомогенность дисперсий.

### Результаты (Results)

У большинства растений, в том числе и культурных, присутствует арбускулярная микориза, и отдельный вид растений имеет разную степень микоризации. Считается, что специфику, круг хозяев и степень колонизации нелегко исследовать из-за трудности взаимодействия между грибами АМ и корневой системой разных растений [16]. Проведенные исследования показали, что у растений огурца обыкновенного частота встречаемости микоризной колонизации (МК) при внесении ассоциации 1-16 была значительно выше по сравнению с остальными исследуемыми изолятами и составила 68,9 % (таблица 1). Гифы микоризных грибов образуют специальные симбиотические структуры, именуемые арбускулами. В них осуществляется обмен веществами между клетками корня и грибными гифами. При этом арбускулы живут только несколько дней, впоследствии они лизируются, а питательные элементы вновь поступают в растения [1].

В ходе исследования определено, что наибольшее обилие арбускул отмечено при использовании ассоциации 1-16 и составило 44,2 % с интенсивностью колонизации 49,3 %. Ассоциация 5-16 имеет менее значительную развитую сеть гиф в корнях огурца (встречаемость МК – 24,4 %), малое обилие арбускул (5,5 %) и присутствие микоризных апрессориев на корнях, что указывает на начальный этап формирования симбиоза (рис. 1). Ассоциация *F. mosseae* S1-4 показала свою неэффективность симбиотического взаимодействия с огурцом, о чем свидетельствует слабая микоризная колонизация корней.

Эмиссия углекислого газа из ризосферы является важным показателем деятельности микроорганизмов. Данный показатель часто используется при оценке биологической активности почв. В результате проведенного эксперимента наблюдали интенсификацию микробной составляющей ризосферы огурца в виде повышения выделения углекислого газа из ризосферы на 43,9 % при применении ассоциации 1-16 по сравнению с контролем без инокуляции (рис. 2).

Для определения способности ассоциаций микоризных грибов поставлять растворимые и нерастворимые питательные элементы в качестве субстрата использовали песок и вермикулит не содержащие данных веществ. Калий вносили в виде



растворимой соли (нитрат калия), а фосфор – в виде нерастворимого ортофосфата кальция. В ходе эксперимента определено, что хорошо микоризованные растения при внесении ассоциации 1-16 усваивали дополнительные фосфорные группы, поступающие в побеги, на 0,7 мг (18,4 %) больше, чем в контроле, при поступлении в корни их количество не снизилось (рис. 3). Для ионов калия, напротив, поступление в подземную часть растений увеличилось на 10 мг (16,4 %) под действием *F. mosseae* 1-16, а в надземную – снижалось на 8,0 % по сравнению с контролем.

Под действием биотических и абиотических стрессов в растениях активизируются ферменты оксидоредуктаз, а также увеличивается количество свободного пролина, осуществляющего антиоксидантную, регуляторную и осмопротекторную функции [17]. Под действием ассоциации 1-16 свободного пролина в листьях огурца было накоплено меньше на 35,9 % по отношению к контролю (рис. 4). Это свидетельствует о меньшем уровне стресса, чем у остальных вариантов. Стресс мог быть вызван недостатком растворимого фосфора в субстрате, который не вносили с питательным раствором для установления симбиоза с грибами АМ.

Таблица 1

Уровень колонизации корней огурца обыкновенного с внесением ассоциаций грибов АМ

Вариант опыта	Частота встречаемости МК, %	Интенсивность МК, %	Обилие арбускул, %
Контроль без обработки	0	0	0
<i>F. mosseae</i> S1-4	6,7 ± 0,0	1,2 ± 0,6	0,3 ± 0,3
<i>F. mosseae</i> 1-16	68,9 ± 8,7	49,3 ± 10,9	44,2 ± 10,8
<i>F. mosseae</i> 5-16	24,4 ± 11,1	8,6 ± 6,2	5,5 ± 5,0

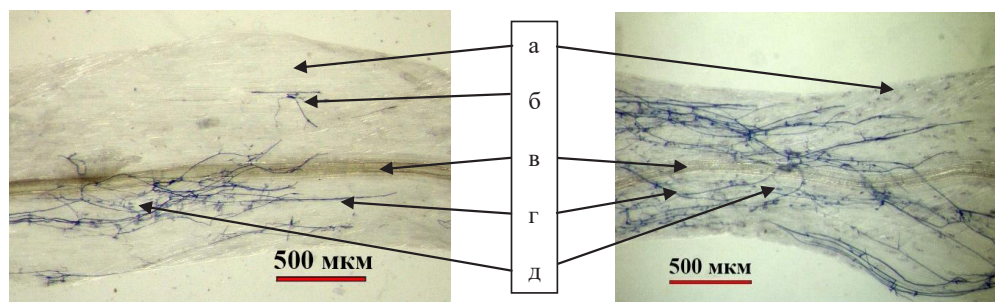
Примечание. МК – микоризная колонизация.

Table 1

Level of colonization of roots of common cucumber with application of AM fungi associations

Treatment	Frequency of MC occurrence, %	Intensity of MC, %	Abundance of arbuscules, %
Control without treatment	0	0	0
<i>F. mosseae</i> S1-4	6.7 ± 0.0	1.2 ± 0.6	0.3 ± 0.3
<i>F. mosseae</i> 1-16	68.9 ± 8.7	49.3 ± 10.9	44.2 ± 10.8
<i>F. mosseae</i> 5-16	24.4 ± 11.1	8.6 ± 6.2	5.5 ± 5.0

Note. MC – mycorrhizal colonization.

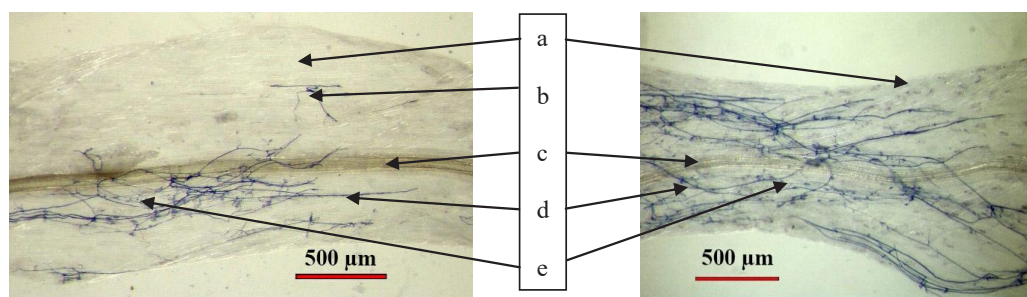


Ассоциация 5-16

Ассоциация 1-16

Рис. 1. Развитие арбускулярной микоризы в корнях *C. sativus*:

- а) клетки паренхимы корня; б) апрессорий грибов АМ и начало формирования новой микорризной сети;
- в) центральный цилиндр корня; г) внутрикорневые гифы; д) арбускулы



Association 5-16

Association 1-16

Fig. 1. Development of arbuscular mycorrhiza in *C. sativus* roots:

- a) cells of root parenchyma; б) AM fungi appressoria and the beginning of new mycorrhizal network formation;
- в) central cylinder of the root; г) intra-root hyphae; д) arbuscules.



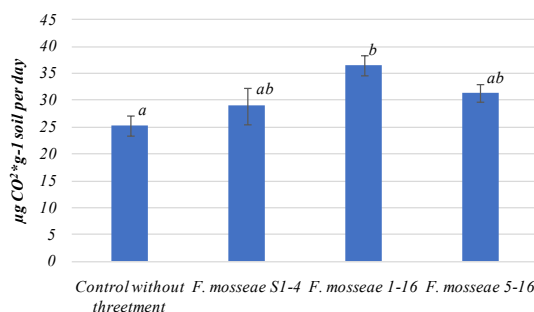
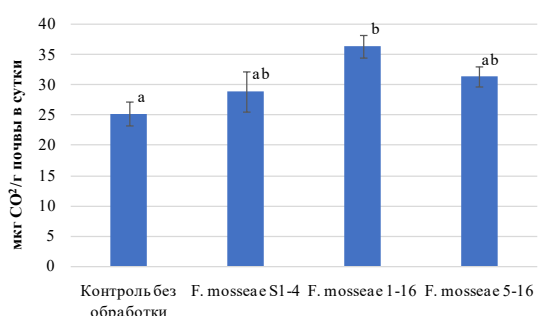


Рис. 2. Зависимость эмиссии углекислого газа в ризосфере огурца обыкновенного от применяемых ассоциаций грибов АМ

Fig. 2: Dependence of carbon dioxide emission in the rhizosphere of cucumber on applied AM-fungi associations  
Note. Columns with the same letter designations have no statistically significant differences at  $p > 0.05$  (according to Duncan's test)

Примечание. В столбцах с одинаковым буквенным обозначением не установлено статистически значимых различий при  $p > 0,05$  (согласно тесту Дункана)

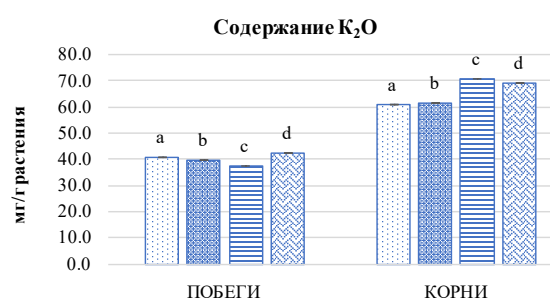
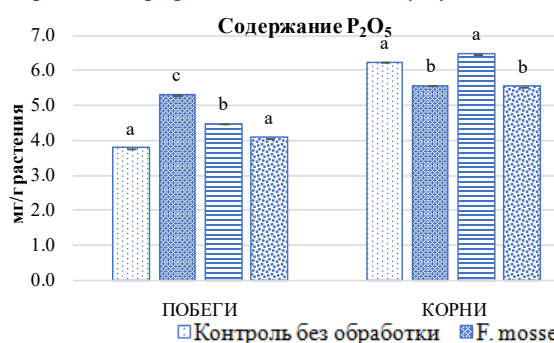


Рис. 3. Влияние новых ассоциаций микоризных грибов на усвоение фосфора и калия растениями C. sativus  
Примечание. В столбцах с одинаковым буквенным обозначением не установлено статистически значимых различий при  $p > 0,05$  (согласно тесту Краскела – Уоллиса)

Fig. 3: Effect of new associations of mycorrhizal fungi on phosphorus and potassium uptake by C. sativus plants  
Note. Columns with the same letter designation did not establish statistically significant differences at  $p > 0.05$  (according to the Kruskal – Wallis test)

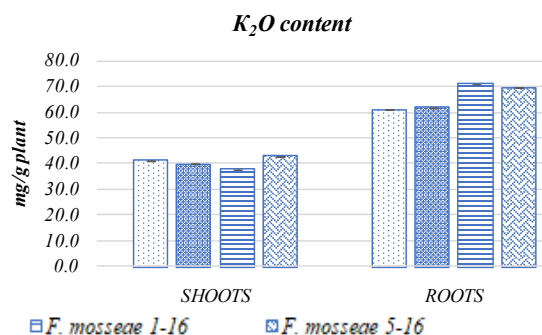
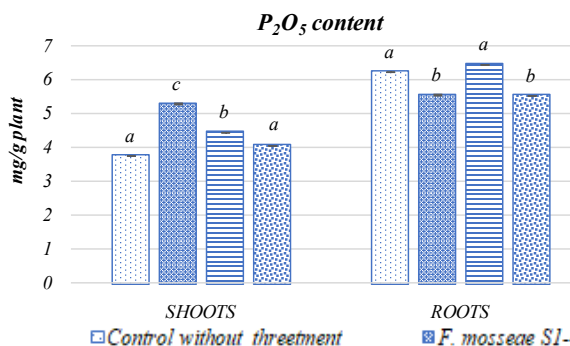


Рис. 3: Effect of new associations of mycorrhizal fungi on phosphorus and potassium uptake by C. sativus plants  
Note. Columns with the same letter designation did not establish statistically significant differences at  $p > 0.05$  (according to the Kruskal – Wallis test)

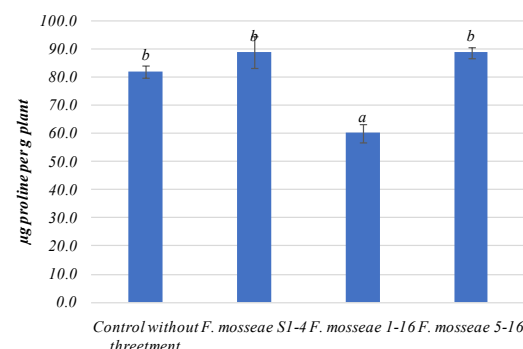
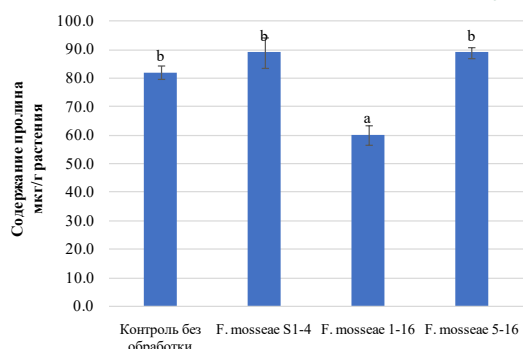


Рис. 4. Зависимость содержания пролина в листьях C. sativus от применяемых ассоциаций грибов АМ  
Примечание. В столбцах с одинаковым буквенным обозначением не установлено статистически значимых различий при  $p > 0,05$  (согласно тесту Дункана)

Fig. 4: Dependence of proline content in C. sativus leaves on the AM fungi associations used  
Note. Columns with the same letter designations have no statistically significant differences at  $p > 0.05$  (according to Duncan's test)

Таблица 2

Влияние ассоциаций *F. mosseae* на продуктивность огурца обыкновенного

Вариант опыта	Высота растений, см	Площадь листьев, см <sup>2</sup> /растение	Масса корней, г	Масса побегов, г
Контроль без обработки	36,7 ± 1,5 <sup>a</sup>	815,0 ± 56,4 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,05 <sup>a</sup>	1,28 ± 0,07 <sup>a</sup>
<i>F. mosseae</i> S1-4	40,9 ± 1,2 <sup>ab</sup>	971,2 ± 46,9 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,50 ± 0,05 <sup>a</sup>
<i>F. mosseae</i> 1-16	42,1 ± 0,8 <sup>b</sup>	977,2 ± 48,9 <sup>b</sup>	0,88 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,59 ± 0,08 <sup>b</sup>
<i>F. mosseae</i> 5-16	42,8 ± 1,9 <sup>b</sup>	988,8 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,05 <sup>b</sup>	1,51 ± 0,07 <sup>a</sup>

Примечание. В ячейках с одинаковым буквенным обозначением не установлено статистически значимых различий при  $p > 0,05$  (согласно тесту Дункана).

Table 2

Effect of *F. mosseae* associations on productivity of cucumber

Treatment	Plant height, cm	Leaf area, cm <sup>2</sup> /plant	Weight of roots, g	Weight of shoots, g
Control without treatment	36.7 ± 1.5 <sup>a</sup>	815.0 ± 56.4 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.28 ± 0.07 <sup>a</sup>
<i>F. mosseae</i> S1-4	40.9 ± 1.2 <sup>ab</sup>	971.2 ± 46.9 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.50 ± 0.05 <sup>a</sup>
<i>F. mosseae</i> 1-16	42.1 ± 0.8 <sup>b</sup>	977.2 ± 48.9 <sup>b</sup>	0.88 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.59 ± 0.08 <sup>b</sup>
<i>F. mosseae</i> 5-16	42.8 ± 1.9 <sup>b</sup>	988.8 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.51 ± 0.07 <sup>a</sup>

Note. Columns with the same letter designations have no statistically significant differences at  $p > 0.05$  (according to Duncan's test).

Результатом этих взаимодействий является способствование новых ассоциаций грибов АМ ускоренному росту огурца обыкновенного, что привело к увеличению высоты побегов у растений с ассоциациями *F. mosseae* 1-16 и 5-16 от 14,7 до 16,6 % в сравнении с контролем (таблица 2). Основопологающим фактором формирования урожайности и развития растений является фотосинтез. Продуктивность фотосинтеза растений можно определить с помощью такого показателя, как суммарная площадь листьев. Использование грибов АМ обеспечило прирост площади листьев на 21,3 % только в варианте с ассоциацией 5-16. Из-за высоких значений статистических ошибок (дисперсий) в опытном и референсном вариантах с ассоциациями *F. mosseae* 1-16 и *F. mosseae* S1-4 соответственно тенденции к увеличению этого показателя не были статистически доказаны. Также стоит отметить, что в симбиозе ассоциаций АМ грибов с огурцом не выявлено влияния на содержание хлорофиллов, как это показано в экспериментах с сорго зерновым и кориандром [14; 23].

Известно, что арбускулярная микориза оказывает содействие формированию у растений хорошо развитой корневой системы, которая была бы способна в достаточной мере обеспечивать надземную часть влагой и питательными веществами для получения высокого урожая. Поэтому мы исследовали влияние новых ассоциаций на массу корневой системы *C. sativus*. Как видно из данных таблицы 2, достоверное накопление сухой массы корней растениями огурца обыкновенного при использовании грибов АМ отмечено во всех вариантах. Для изучения влияния АМ на продуктивность растений *C. sativus* был проанализирован показатель сухой массы побегов. Применение микоризы способствовало увеличению накопления сухой массы побегов,

причем во всех опытных вариантах. В наибольшей степени (на 24,2 %) оно проявилось в варианте с *F. mosseae* 1-16.

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

Полученные данные еще раз подтвердили имеющиеся в литературных источниках представления о применении грибов арбускулярной микоризы в качестве биоудобрения. При этом рост растений может повышаться как за счет увеличения усвоения элементов питания из субстрата, так и вследствие значительного расширения площади поглощения воды [19] и увеличения площади листовой поверхности. Известно, что микоризные грибы могут увеличивать рост растений даже тогда, когда те страдают от недостатка минеральных веществ, что видно, например, по отставанию в их росте<sup>13</sup>.

Таким образом, определено, что применение новых ассоциаций 1-16 и 5-16 в гидропонной системе выращивания огурца обыкновенного способствует активному формированию микоризы арбускулярного типа. Отмечено, что огурец к формированию симбиоза подходит избирательно, так как по сравнению с ассоциациями *F. mosseae* S1-4 и 5-16 ассоциация 1-16 интенсивнее колонизировала корни (частота встречаемости МК – 68,9 %, обилие арбускул – 44,2 %). Исследование показало, что колонизация корней *C. sativus* новыми ассоциациями грибов АМ положительно действует на физиологическое состояние растений и ризосферы. Отметим активизацию биологической активности в ризосфере, создав благоприятные условия для развития микроорганизмов, на что указывает возрастание эмиссии углекислого газа на 23,7–43,5 % по сравнению с контролем. Под действием ассоциации грибов АМ 1-16 снизилось стрессовое состояние огурца

<sup>13</sup> Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal symbiosis. 3rd ed. London: Academic Press, 2008. 804 p.

от недостатка растворимого фосфора в субстрате. Недостаток фосфора в побегах и корнях и дополнительное количество калия в подземной части растения восполнили симбиотические грибы, способные поставлять эти элементы из субстрата. При этом значительно увеличилась высота побегов на

14,7–16,6 %, площадь листовой поверхности – на 21,3 %, масса корневой системы – на 83,3 %, масса побегов – на 18,0–24,2 % по сравнению с контролем без обработки. Показанные результаты говорят об эффективности симбиотического взаимодействия, а ассоциация *F. mosseae* 1-16 рекомендуется для биотехнологического растениеводства.

#### Библиографический список

1. Noceto P. A., Bettenfeld P., Boussageon R., Hériché M., Sportes A., Tuinen D., Courty P. E., Wipf D. Arbuscular mycorrhizal fungi, a key symbiosis in the development of quality traits in crop production, alone or combined with plant growth-promoting bacteria // *Mycorrhiza*. 2021. Vol. 31 (6). Pp. 655–669. DOI: 10.1007/s00572-021-01054-1.
2. Wahdan S. F. M., Asran A. G. A., Abdellatef M., Atia M. A. M., Ji L. Arbuscular mycorrhizal fungi in organic versus conventional farming // In: Ahammed G. J., Hajiboland R. (eds.) *Arbuscular mycorrhizal fungi and higher plants*. Singapore: Springer, 2024. DOI: 10.1007/978-981-99-8220-2\_12.
3. Carrara J. E., Heller W. P. Arbuscular mycorrhizal species vary in their impact on nutrient uptake in sweet corn (*Zea mays*) and butternut squash (*Cucurbita moschata*) // *Frontiers in Agronomy*. 2022. Vol. 4. Article number 1040054. DOI: 10.3389/fagro.2022.1040054.
4. Fall A. F., Nakabonge G., Ssekandi J., Founoune-Mbouup H., Apori S. O., Ndiaye A., Badji A., Ngom K. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil // *Frontiers Fungal Biology*. 2022. Vol. 3. DOI: 10.3389/ffunb.2022.723892.
5. Luo B., Ma P., Nie Z., Zhang X., He X., Ding X., Feng X., Lu Q., Ren Z., Lin H., Wu Y., Shen Y., Zhang S., Wu L., Liu D., Pan G., Rong T., Gao S. Metabolite profiling and genome-wide association studies reveal response mechanisms of phosphorus deficiency in maize seedling // *Plant Journal*. 2019. Vol. 97. Pp. 947–969. DOI: 10.1111/tbj.14160.
6. Liu J., Liu J., Liu J., Cui M., Huang Y., Tian Y., Chen A., Xu G. The potassium transporter SIHAK10 is involved in mycorrhizal potassium uptake // *Plant Physiology*. 2019. Vol. 180, No. 1. Pp. 465–479. DOI: 10.1104/pp.18.01533.
7. Han X., Zhou Y., Li Y., Ren W., Liu K., Zhang W., Zhang H., Tang M. LbKAT3 may assist in mycorrhizal potassium uptake, and overexpression of LbKAT3 may promote potassium, phosphorus, and water transport from arbuscular mycorrhizal fungi to the host plant // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1161220.
8. Qi S., Wang J., Wan L., Dai Z., da Silva Matos D. M., Du D., Egan S., Bonser S.P., Thomas T., Moles A. T. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of *Solidago canadensis* in a Phosphorous-Deficient Environment // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.831654.
9. Buczkowska H., Sałata A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant irrigation with yield – forming factors in organic sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation // *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2020. Vol. 9, No. 6. Pp. 125–138. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.11.
10. Абдурашитов С. Ф., Немтинов В. И., Пузанова Е. В., Грицевич К. С., Белова И. В., Грунина Е. Н., Абдурашитова Э. Р., Климчук А. В. Оценка влияния арбускулярно-микоризных грибов на хозяйственно ценные показатели лука репчатого // *Экосистемы*. 2020. № 21 (51). С. 101–108. DOI: 10.37279/2414-4738-2020-21-101-108.
11. Tran C. T. K., Watts-Williams S. J., Smernik R. J., Cavagnaro T. R. Arbuscular mycorrhizas increased tomato biomass and nutrition but did not affect local soil P availability or 16S bacterial community in the field // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 819. Article number 152620. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152620.
12. Xiuxiu S., Yansu L., Xianchang Y., Chaoxing H. Effects of arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) inoculums on cucumber seedlings // *Advances in Plants & Agriculture Research*. 2019. Vol. 9 (1). Pp. 127–130.
13. Trinchera A., Testani E., Rocuzzo G., Campanelli G., Ciaccia C. Agroecological service crops drive plant mycorrhization in organic horticultural systems // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9, No. 2. Article number 410. DOI: 10.3390/microorganisms9020410.
14. Абдурашитов С. Ф., Грицевич К. С., Алексева А. И., Сейтаджиева С. Б., Зубоченко А. А., Юрков А. П. Агрехимическая и физиологическая основа симбиотической эффективности ассоциаций грибов арбускулярной микоризы с растениями *Coriandrum sativum* // *Земледелие*. 2024. № 1. С. 23–27. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-23-27.
15. Zhao Y., Cartabia A., Lalaymia I., Declerck S. Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants // *Mycorrhiza*. 2022. Vol. 32. Pp. 221–256. DOI: 10.1007/s00572-022-01079-0.

16. Ibrahim M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in biological nitrogen fixation and nitrogen transfer from legume to companion species // *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 17 (2). Pp. 121–134.

17. Meena M., Divyanshu K., Kumar S., Swapnil P., Zehra A., Shukla V., Yadav M., Upadhyay R. S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions // *Helion*. 2019. Vol. 5 (12). Article number e02952. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02952.

18. Абдурашитова Э. Р., Абдурашитов С. Ф., Мельничук Т. Н., Грицевич К. С. Влияние биоагентов микробных препаратов на содержание хлорофиллов в листьях сельскохозяйственных культур // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Симферополь, 2022. С. 183–184.

19. Khan S. W., Yaseen T., Naz F., Abidullah S., Kamil M. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on growth and mycorrhizal dependency of (*Lens culinaris* L.) varieties // *International Journal of Bioorganic Chemistry*. 2019. Vol. 4 (1). Pp. 47–52.

#### Об авторах:

**Сулейман Февзиевич Абдурашитов**, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия;

ORCID 0000-0003-1631-4840, AuthorID 775657. E-mail: [asuleyman83@rambler.ru](mailto:asuleyman83@rambler.ru)

**Фадме Сейдаметовна Белялова**, студент, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0009-5773-0315. E-mail: [belyalova.f@mail.ru](mailto:belyalova.f@mail.ru)

**Анатолий Васильевич Ивашов**, доктор биологических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-8613-7475, AuthorID 772399.

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

**Эльвина Расимовна Абдурашитова**, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-4867-3186, AuthorID 887651.

E-mail: [elvi-jadore@mail.ru](mailto:elvi-jadore@mail.ru)

**Алена Ильинична Алексеева**, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0001-8293-2386, AuthorID 1187617.

E-mail: [alena\\_crao2000@mail.ru](mailto:alena_crao2000@mail.ru)

#### References

1. Noceto P. A., Bettenfeld P., Boussageon R., et al. Arbuscular mycorrhizal fungi, a key symbiosis in the development of quality traits in crop production, alone or combined with plant growth-promoting bacteria. *Mycorrhiza*. 2021; 31 (6): 655–669. DOI: 10.1007/s00572-021-01054-1.

2. Arbuscular mycorrhizal fungi in organic versus conventional farming. In: *Ahamed G. J., Hajiboland R. (eds.) Arbuscular mycorrhizal fungi and higher plants*. Singapore: Springer, 2024. DOI: 10.1007/978-981-99-8220-2\_12.

3. Carrara J. E., Heller W. P. Arbuscular mycorrhizal species vary in their impact on nutrient uptake in sweet corn (*Zea mays*) and butternut squash (*Cucurbita moschata*). *Frontiers in Agronomy*. 2022; 4: 1040054. DOI: 10.3389/fagro.2022.1040054.

4. Fall A. F., Nakabonge G., Ssekandi J., Founoune-Mbouh H., Apori S. O., Ndiaye A., Badji A., Ngom K. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil. *Frontiers Fungal Biology*. 2022; 3. DOI: 10.3389/ffunb.2022.723892.

5. Luo B., Ma P., Nie Z., Zhang X., He X., Ding X., Feng X., Lu Q., Ren Z., Lin H., Wu Y., Shen Y., Zhang S., Wu L., Liu D., Pan G., Rong T., Gao S. Metabolite profiling and genome-wide association studies reveal response mechanisms of phosphorus deficiency in maize seedling. *Plant Journal*. 2019; 97: 947–969. DOI: 10.1111/tj.14160.

6. Liu J., Liu J., Liu J., Cui M., Huang Y., Tian Y., Chen A., Xu G. The Potassium transporter SIHAK10 is involved in mycorrhizal potassium uptake. *Plant Physiology*. 2019; 180 (1): 465–479. DOI: 10.1104/pp.18.01533.

7. Han X., Zhou Y., Li Y., Ren W., Liu K., Zhang W., Zhang H., Tang M. LbKAT3 may assist in mycorrhizal potassium uptake, and overexpression of LbKAT3 may promote potassium, phosphorus, and water transport from arbuscular mycorrhizal fungi to the host plant. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14. DOI: 10.3389/fpls.2023.1161220.

8. Qi S., Wang J., Wan L., Dai Z., da Silva Matos D. M., Du D., Egan S., Bonser S. P., Thomas T., Moles A. T. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorous uptake and allocation strategies of *Solidago canadensis* in a phosphorous-deficient environment. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.831654



9. Buczkowska H., Sałata A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant irrigation with yield – forming factors in organic sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. 2020; 9 (6): 125–138. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.11.
10. Abdurashytov S. F., Nemtinov V. I., Puzanova E. V., Gritsevich K. S., Belova I. V., Grunina E. N., Abdurashytova E. R., Klimchuk A. V. Assessment of the impact of arbuscular-mycorrhizal fungi on economically valuable indicators of onions. *Ecosystems*. 2020; 21 (51): 101–108. DOI: 10.37279/2414-4738-2020-21-101-108. (In Russ.)
11. Tran C. T. K., Watts-Williams S. J., Smernik R. J., Cavagnaro T. R. Arbuscular mycorrhizas increased tomato biomass and nutrition but did not affect local soil P availability or 16S bacterial community in the field. *Science of the Total Environment*. 2022; 819: 152620. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152620.
12. Xiuxiu S., Yansu L., Xianchang Y., Chaoxing H. Effects of arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) inoculums on cucumber seedlings. *Advances in Plants & Agriculture Research*. 2019; 9 (1): 127–130.
13. Trinchera A., Testani E., Roccuzzo G., Campanelli G., Ciaccia C. Agroecological service crops drive plant mycorrhization in organic horticultural systems. *Microorganisms*. 2021; 9 (2): 410. DOI: 10.3390/microorganisms9020410.
14. Abdurashytov S. F., Gricevich K. S., Alekseeva A. I., Seitadzhieva S. B., Zubochenko A. A., Yurkov A. P. Agrochemical and physiological basis of the symbiotic effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi associations with *Coriandrum sativum* plants. *Zemledelie*. 2024; 1: 23–27. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-23-27. (In Russ.)
15. Zhao Y., Cartabia A., Lalaymia I., Declerck S. Arbuscular mycorrhizal fungi and production of secondary metabolites in medicinal plants. *Mycorrhiza*. 2022; 32: 221–256. DOI: 10.1007/s00572-022-01079-0.
16. Ibrahim M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in biological nitrogen fixation and nitrogen transfer from legume to companion species. *Journal of stress. Physiology and Biochemistry*. 2021; 17 (2): 121–134.
17. Meena M., Divyanshu K., Kumar S., Swapnil P., Zehra A., Shukla V., Yadav M., Upadhyay R. S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Helion*. 2019; 5 (12): e02952. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02952.
18. Abdurashytova E. R., Abdurashytov S. F., Melnichuk T. N., Gritsevich K. S. Effect of microbial bioagents on chlorophyll content in crop leaves. *Current state, problems and prospects of the development of agrarian science: proceedings of vii international scientific conference*. Simferopol, 2022. Pp. 183–184. (In Russ.)
19. Khan S. W., Yaseen T., Naz F., Abidullah S., Kamil M. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on growth and mycorrhizal dependency of (*Lens culinaris* L.) varieties. *International Journal of Bio-organic Chemistry*. 2019; 4 (1): 47–52.

#### Authors' information:

**Suleyman F. Abdurashitov**, candidate of biological sciences, head of laboratory, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-1631-4840, AuthorID 775657.

*E-mail: asuleyman83@rambler.ru*

**Fadme S. Belyalova**, student, V. I. Vernadsky Federal University of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0009-0009-5773-0315. *E-mail: belyalova.f@mail.ru*.

**Anatoliy V. Ivashov**, doctor of biological sciences, professor, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID 0002-8613-7475, AuthorID 772399. *E-mail: aivashov@mail.ru*

**Elvina R. Abdurashitova**, research associate, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0000-0003-4867-3186, AuthorID 887651. *E-mail: elvi-jadore@mail.ru*

**Alena I. Alekseeva**, junior researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-8293-2386 AuthorID 1187617. *E-mail: alena\_crao2000@mail.ru*

## Влияние сезонной динамики компонентов молока высокопродуктивных коров голштинской породы на эффективность процесса диафильтрации

Н. В. Бурачевский<sup>✉</sup>, С. Г. Майзель, И. М. Донник

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

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

**Аннотация.** Цель – анализ влияния сезона года и уровня молочной продуктивности на состав молока коров голштинской породы. Разработка технологии производства безлактозного молока баромембранными методами должна учитывать изменяющиеся физико-химические характеристики сырья. Изучение данных подтвердило, что для уменьшения уровня лактозы в молоке до уровня, установленного нормативами, можно использовать определенное количество циклов процесса диафильтрации. Количество циклов зависит в первую очередь от массовой доли лактозы в исходном молоке. Поэтому важно знать уровень основных компонентов молока в зависимости от сезонных факторов, особенно лактозы, для организации более эффективного процесса диафильтрации. Этим и обусловлена цель проводимых исследований. **Методы.** В молочном предприятии проведены исследования жира, белка и лактозы у коров с продуктивностью от 9 до 12 тыс. кг за лактацию. В рамках проведенного исследования всем подопытным животным были предоставлены одинаковые условия содержания и питания. Методы исследования соответствовали действующим нормам. Анализ качества молока производился при помощи устройства FOSS MilkoScanTMFT+ и охватывал следующие параметры: процент жира, процент белка, процент лактозы. **Результаты.** Исследования показали, что изменения уровня лактозы в молоке не связаны с увеличением его производительности. Однако выявлен очевидный сезонный цикл, который следует учитывать при сборе молока с низким содержанием лактозы. Максимальное содержание белка в молоке наблюдалось осенью, в то время как зимние месяцы отличались высоким уровнем лактозы. Уровень жира в молоке у коров с различной продуктивностью менялся по-разному и зависел от времени года. **Научная новизна.** В результате проведенных исследований, направленных на изучение изменения уровня лактозы в молоке коров голштинской породы с разной продуктивностью в разные времена года, впервые получены данные, позволяющие исключить 1–2 цикла диафильтрации в весенний и осенний периоды года, при получении безлактозного молока.

**Ключевые слова:** безлактозное молоко, сезон года, молочная продуктивность, массовая доля лактозы, массовая доля жира, массовая доля белка, диафильтрация

**Для цитирования:** Бурачевский Н. В., Майзель С. Г., Донник И. М. Влияние сезонной динамики компонентов молока высокопродуктивных коров голштинской породы на эффективность процесса диафильтрации // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 412–421. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-412-421>.

**Дата поступления статьи:** 29.10.2024, **дата рецензирования:** 31.01.2025, **дата принятия:** 03.02.2025.

## The influence of seasonal dynamics of milk components of highly productive Holstein cows on the efficiency of the diafiltration process

N. V. Burachevskiy<sup>✉</sup>, S. G. Mayzel, I. M. Donnik  
Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia  
<sup>✉</sup>E-mail: [nikolaburachevsky@mail.ru](mailto:nikolaburachevsky@mail.ru)

**Abstract.** The purpose is the analysis of the influence of the season of the year and the level of milk productivity on the milk composition of Holstein cows. The development of technology for the production of lactose-free milk by baromembrane methods should take into account the changing physico-chemical characteristics of raw materials. The study of the data confirmed that a certain number of cycles of the diafiltration process can be used to reduce the level of lactose in milk to the level established by the regulations. The number of cycles depends primarily on the mass fraction of lactose in the source milk. Therefore, it is important to know the level of the main components of milk depending on seasonal factors, especially lactose, in order to organize a more efficient filtration process. This is the reason for the purpose of the research. **Methods.** The dairy company conducted studies of fat, protein and lactose in cows with productivity from 9 to 12 thousand kg per lactation. As part of the study, all experimental animals were provided with the same conditions of care and nutrition. The research methods corresponded to the current standards. The milk quality analysis was performed using the FOSS MilkoScanTMFT+ device and covered the following parameters: fat percentage, protein percentage, lactose percentage. **Results.** Studies have shown that changes in the level of lactose in milk are not associated with an increase in its productivity. However, an obvious seasonal cycle has been identified that should be considered when harvesting low-lactose milk. The maximum protein content in milk was observed in autumn, while the winter months were characterized by high levels of lactose. The level of fat in milk from cows with different productivity varied in different ways and depended on the time of the year. **Scientific novelty.** As a result of studies aimed at studying changes in lactose levels in the milk of Holstein cows with different productivity at different times of the year, data were obtained for the first time that make it possible to exclude 1-2 cycles of diafiltration in the spring and autumn periods of the year when receiving lactose-free milk.

**Keywords:** lactose-free milk, season of the year, milk productivity, mass fraction of lactose, mass fraction of fat, mass fraction of protein, diafiltration

**For citation:** Burachevskiy N. V., Mayzel S. G., Donnik I. M. The influence of seasonal dynamics of milk components of highly productive Holstein cows on the efficiency of the diafiltration process. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 05 (04): 412–421. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-412-421>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 29.10.2024, **date of review:** 31.01.2025, **date of acceptance:** 03.02.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Продукты из молока занимают ключевое место в нашем питании. Однако для многих людей употребление молока становится проблемой из-за невозможности переваривать молочный сахар – лактозу. Основным фактором такой непереносимости является генетическая предрасположенность к недостаточному уровню фермента лактазы. Недостаточная переносимость лактозы – распространенная проблема. В Африке, Америке и определенных частях Азии от 80 % до 100 % взрослого населения сталкиваются с этим явлением, что объясняется отсутствием традиций употребления молочной продукции в этих регионах. Известно, что в России приблизительно 20 % людей сталкиваются с проблемой употребления молочной пищи из-за непереносимости лактозы. Отказ от молочных продуктов

может иметь негативное влияние на здоровье, поскольку молоко является богатым источником полезных для организма веществ. В его состав входит около сотни компонентов, включая более 20 видов аминокислот, 25 видов жирных кислот, 30 видов минеральных солей и 20 видов витаминов. Кроме того, молочные ферменты играют важную роль в поддержании здоровья. Среди них выделяются ферменты, способные к гидролизу, такие как галактаза и лактаза, липаза и фосфатаза, а также группа ферментов, осуществляющих окислительно-восстановительные реакции. В детском возрасте эти ферменты помогают в переваривании питательных веществ в желудочно-кишечном тракте.

Одним из подходов к решению проблемы людей с непереносимостью лактозы являются разработка и выпуск молочных продуктов без лактозы. Соглас-

но требованиям технического регулирования ТР ТС 033/2013, продукты, полученные из молока без лактозы, именуются как продукты переработки молочного сырья без лактозы. Этот продукт представляет собой измененное молоко, в котором лактоза либо претерпевает процесс гидролиза, либо полностью удаляется. Отличием такого молока от стандартного является его низкая или отсутствующая концентрация лактозы, что соответствует российским стандартам, согласно которым содержание лактозы в молоке не должно превышать 0,1 грамма на литр.

При изучении новейших достижений в области технологии видно, что существуют три основных способа производства молока без лактозы: использование кисломолочных смесей с молочным белком, ферментативное расщепление лактозы и применение баромембранных технологий. Смесей с молочным белком создаются путем соединения разнообразных компонентов и последующего сквашивания с применением кисломолочной закваски. Хотя такие смеси полезны, они не являются настоящим молоком. Процесс ферментации лактозы, применяемый для производства молочных продуктов, напоминает естественные процессы, происходящие в организме человека. Однако использование ферментов может изменить вкусовые качества продукции, придавая им более сладкий оттенок или нежелательные ароматы. Финская компания Valio разработала инновационную методику, основанную на применении мембран, которая позволяет производить молоко с натуральным вкусом и содержанием лактозы менее 0,01 %. Основным этапом этого процесса – ультрафильтрация, которая позволяет уменьшить содержание лактозы в молочных продуктах. Затем к продукции добавляется фермент лактаза, который полностью разлагает лактозу. Предложенная технология компании Valio уникальна на российском рынке, однако из-за необходимости импорта оборудования ее стоимость довольно высока. Кроме того, обслуживание и ремонт импортного оборудования требуют значительных затрат.

В России преобладает технология производства молока с уменьшенным уровнем лактозы, который достигается с помощью ферментативной обработки, однако это не является идеальным методом для создания молока без лактозы. В нашем будущем исследовании мы планируем использовать технологию, основанную на диафильтрации для производства такого молока. Диафильтрация представляет собой процесс, в котором методом ультрафильтрации из молока удаляется в виде пермеата часть воды и лактозы. Концентрированный продукт разбавляется водой в количестве, равном отведенному пермеату. Этот процесс проходит в циклическом режиме, пока не будет достигнут желаемый уровень содержания лактозы в молоке [9–11].

Разработанная методика позволяет выпускать продукт с минимальным уровнем лактозы, при этом он полностью сохраняет физико-химические свойства и вкусовые качества обычного молока. Более того, новый продукт может стоить меньше, чем его аналоги на рынке. Эксперименты с обезжиренным молоком показали, что для достижения требуемых норм уровня лактозы необходимо провести определенное количество циклов диафильтрации, что, в свою очередь, зависит от пропорции лактозы в исходном молоке [10].

В связи с этим представляет значительный интерес исследование содержания лактозы в молоке коров от уровня продуктивности и сезона года. Сегодня, когда в животноводстве активно внедряются новейшие технологии, все чаще используются условия холодного содержания крупного рогатого, где коровы размещаются в удобных павильонных зданиях [11–16]. В таких помещениях микроклимат непосредственно зависит от погодных условий в окружающей среде, что оказывает значительное влияние на производительность коров [17–22]. Поэтому крайне важно понимать, как сезонные изменения влияют на содержание основных компонентов молока, в частности лактозы, что важно для улучшения процесса диафильтрации.

Целью данной работы является анализ воздействия различных времен года и разных уровней молочной продуктивности на состав молока (белок, жир, лактозу) коров голштинской породы, содержащихся в легких павильонных постройках. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- определить закономерности изменения процента жира и белка в молоке коров с разным уровнем продуктивности в зависимости от времени года;
- изучить изменения уровня лактозы в молоке коров с разной продуктивностью в разные времена года;
- разработать рекомендации для молочного производства по использованию технологии производства молока без лактозы с учетом содержания лактозы в молоке коров в зависимости от уровня продуктивности и времени года.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

Исследовательский проект был реализован на территории молочного комплекса, расположенного в Свердловской области, и длился в течение двух лет, с декабря 2021 по ноябрь 2023 года. В рамках эксперимента было выбрано 200 голов крупного рогатого скота с учетом продолжительности лактации и уровня производства молока. Они были разделены на пять групп по 40 особей в каждой.

Первую группу составляли коровы с уровнем молока менее 9000 кг в течение 305 дней лактации.



Таблица 1  
Изменение содержания жира в молоке, собранном в течение дня, в зависимости от времени года и продуктивности коровы, % (по результатам 200 наблюдений)

Группа	Сезон года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1	3,93 ± 0,09*	3,99 ± 0,14*	3,92 ± 0,16*	4,09 ± 0,17*
2	3,59 ± 0,12	3,47 ± 0,12	3,86 ± 0,14	4,14 ± 0,16*
3	3,59 ± 0,11*	3,44 ± 0,15	3,48 ± 0,12	4,00 ± 0,17
4	3,60 ± 0,12	3,49 ± 0,15	3,45 ± 0,15	3,78 ± 0,09
5	3,64 ± 0,12*	3,21 ± 0,14*	3,43 ± 0,16*	3,58 ± 0,13*

Примечание.  $P \leq 0,05$  (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 1  
Changes in the fat content of milk collected during the day, depending on the time of the year and the productivity of the cow, % (based on 200 observations)

Group	Season of the year			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
1	3.93 ± 0.09*	3.99 ± 0.14*	3.92 ± 0.16*	4.09 ± 0.17*
2	3.59 ± 0.12	3.47 ± 0.12	3.86 ± 0.14	4.14 ± 0.16*
3	3.59 ± 0.11*	3.44 ± 0.15	3.48 ± 0.12	4.00 ± 0.17
4	3.60 ± 0.12	3.49 ± 0.15	3.45 ± 0.15	3.78 ± 0.09
5	3.64 ± 0.12*	3.21 ± 0.14*	3.43 ± 0.16*	3.58 ± 0.13*

Note.  $P \leq 0.05$  (\* – statistically significant differences between the groups).

Во вторую группу входили коровы, дающие от 9000 до 9999 кг молока за тот же период;

Третью группу представляли коровы с производством от 10 000 до 10 999 кг молока за 305 дней.

Четвертую группу составляли коровы, дающие от 11 000 до 11 999 кг молока за тот же период;

В пятую группу входили коровы, дающие более 12 000 кг молока за 305 дней лактации.

Для анализа были представлены данные каждой коровы. Химический состав молока каждой коровы определялся с использованием прибора FOSS MilkoskanTMFT+, который измерял содержание жира, белка и лактозы. В течение всего эксперимента все коровы в каждой группе содержались в одинаковых условиях: беспривязное содержание и рацион питания, состоящий из смешанного корма.

Процесс исследования был проведен в строгом соответствии с рядом стандартов: стандарт МСТ 26809.1-2014, регламентирующий правила приема, методы отбора и подготовку образцов для анализа молока и молочных изделий; стандарт Р 54668-2011, определяющий методики измерения содержания влаги и сухого вещества в молоке и его производных; стандарт 3624-92, описывающий титриметрические методы измерения кислотности в молочных продуктах.

Для изучения процесса диализации использовалась специальная лабораторная аппаратура, которая оснащена мембраной диаметром отверстия 0,01 мкм. При проведении эксперимента были соблюдены оптимальные параметры ультрафильтрации молока: скорость потока молока над мембраной составляла не менее 3,0 м/с; рабочее давление поддерживалось на уровне 0,35 МПа; температура

процесса колебалась в диапазоне от 45 до 55 °С, что соответствует рекомендациям [10].

### Результаты (Results)

Информация об изменениях процента жира в молоке в зависимости от времени года и уровня молочной продуктивности представлена в таблице 1.

Анализируя данные из таблицы 1, можно заметить, что в каждом сезоне года наблюдалось снижение содержания жира в молоке при увеличении молочной продуктивности. Например, зимой у коров первой группы содержание жира было на 7,4 % выше, чем у животных других групп. Весной разница увеличилась до 24,3 %. Летом у коров первой группы уровень жира был на 13,7 % ниже, чем у самых продуктивных животных (более 12 тыс. кг), а к зиме – уже на 14,2 %.

Таким образом, наблюдается явная сезонная динамика содержания жира в молоке у всех коров независимо от их продуктивности. Заметное изменение в процентном соотношении жира в молоке коров было зафиксировано весной по сравнению с зимним периодом. У особей, относящихся к категории наиболее продуктивных, наблюдалось более выраженное уменьшение уровня жира, что связано с их высокой продуктивностью.

Качество молока определяется в том числе его белковым составом, который является важнейшим критерием. Таблица 2 демонстрирует колебания в процентном соотношении белка в молоке коров различных групп в зависимости от времени года и уровня их продуктивности.

Анализ содержания белка выявил, что в течение всего года наибольшее количество белка содержалось в молоке у коров первой группы с наименьшей

молочной продуктивностью (9 тыс. кг): от 3,21 до 3,50 %. Аналогично содержание белка увеличивалось в течение сезона у коров с продуктивностью 11 тыс. кг с уровня 3,03 % зимой до 3,39 % осенью, а у коров третьей группы (10 тыс. кг) – с 2,96 % до 3,44 % соответственно. Заметные отличия между первой и пятой группами были замечены на протяжении всего года ( $P \leq 0,01 \dots 0,05$ ). В среднем разница между первой, второй, третьей и четвертой группами составляла 5, 7,3, 6,25 и 7,3 % соответственно.

В весенний период животные первой группы превышали по содержанию белка коров второй, третьей и четвертой групп. Летом у коров второй группы отмечалось высокое содержание белка в молоке. Проведенный анализ показал, что осенью во всех группах животных наблюдалось наибольшее содержание белка. Различие в содержании белка по сравнению с весенним периодом составляло 0,27–0,48 % для всех групп и 0,18–0,48 % по сравнению с зимним периодом. Также было отмечено незначительное увеличение содержания белка летом по сравнению с весной у всех групп животных.

Таблица 2  
Изменение содержания белка в молоке, собранном в течение дня, в зависимости от времени года и продуктивности коровы, % (по результатам 200 наблюдений)

Группа	Сезон года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1	3,23 ± 0,06*	3,21 ± 0,06*	3,23 ± 0,08	3,50 ± 0,06*
2	3,03 ± 0,04	2,95 ± 0,04*	3,21 ± 0,05	3,39 ± 0,08
3	2,96 ± 0,04*	2,96 ± 0,05	3,09 ± 0,05	3,44 ± 0,08
4	3,08 ± 0,04	3,01 ± 0,05	3,15 ± 0,05	3,29 ± 0,06
5	3,08 ± 0,05	2,99 ± 0,05*	3,04 ± 0,05	3,26 ± 0,05*

Примечание.  $P \leq 0,05$  (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 2  
Changes in the protein content of milk harvested during the day, depending on the time of year and the productivity of the cow, % (based on 200 observations)

Group	Season of the year			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
1	3.23 ± 0.06*	3.21 ± 0.06*	3.23 ± 0.08	3.50 ± 0.06*
2	3.03 ± 0.04	2.95 ± 0.04*	3.21 ± 0.05	3.39 ± 0.08
3	2.96 ± 0.04*	2.96 ± 0.05	3.09 ± 0.05	3.44 ± 0.08
4	3.08 ± 0.04	3.01 ± 0.05	3.15 ± 0.05	3.29 ± 0.06
5	3.08 ± 0.05	2.99 ± 0.05*	3.04 ± 0.05	3.26 ± 0.05*

Note.  $P \leq 0.05$  (\* – statistically significant differences between the groups).

Таблица 3  
Изменение содержания лактозы в молоке, собранном в течение дня, в зависимости от времени года и продуктивности коровы, % (по результатам 200 наблюдений)

Группа	Сезон года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1	4,84 ± 0,03*	4,33 ± 0,05*	4,67 ± 0,04	4,59 ± 0,05
2	4,88 ± 0,03*	4,37 ± 0,03*	4,71 ± 0,04	4,53 ± 0,07*
3	4,83 ± 0,03*	4,34 ± 0,03*	4,68 ± 0,03	4,50 ± 0,06*
4	4,82 ± 0,04*	4,34 ± 0,04*	4,69 ± 0,04	4,70 ± 0,04
5	4,75 ± 0,03*	4,34 ± 0,04*	4,67 ± 0,04	4,68 ± 0,04

Примечание.  $P \leq 0,05$  (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 3  
The change in the lactose content in the milk collected during the day, depending on the time of the year and the productivity of the cow, % (based on 200 observations)

Group	Season of the year			
	Winter	Spring	Summer	Autumn
1	4.84 ± 0.03*	4.33 ± 0.05*	4.67 ± 0.04	4.59 ± 0.05
2	4.88 ± 0.03*	4.37 ± 0.03*	4.71 ± 0.04	4.53 ± 0.07*
3	4.83 ± 0.03*	4.34 ± 0.03*	4.68 ± 0.03	4.50 ± 0.06*
4	4.82 ± 0.04*	4.34 ± 0.04*	4.69 ± 0.04	4.70 ± 0.04
5	4.75 ± 0.03*	4.34 ± 0.04*	4.67 ± 0.04	4.68 ± 0.04

Note.  $P \leq 0.05$  (\* – statistically significant differences between the groups).

Таблица 4  
Химический состав молока в зимнее время года (средние показатели)

Параметры	Исходное молоко	Молоко после диафильтрации
Белок общий, % (масс.)	3,08 ± 0,04*	3,08 ± 0,04*
Лактоза, % (масс.)	4,82 ± 0,02*	≤ 0,007 ± 0,002*
Жир, % (масс.)	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
Минеральные вещества, % (масс.)	0,82 ± 0,05	0,82 ± 0,05
Сухие вещества, % (масс.)	8,82 ± 0,03	4,01 ± 0,03
Кислотность, °Т	17,5 ± 0,15	18,0 ± 0,15
Количество циклов диафильтрации	7	

Примечание.  $P \leq 0,05$  (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 4  
Chemical composition of milk in winter (average values)

Parameters	The original milk	Milk after diafiltration
Total protein, % (wt.)	3,08 ± 0,04*	3,08 ± 0,04*
Lactose, % (wt.)	4,82 ± 0,02*	≤ 0,007 ± 0,002*
Fat, % (wt.)	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
Mineral substances, % (wt.)	0,82 ± 0,05	0,82 ± 0,05
Dry matter, % (wt.)	8,82 ± 0,03	4,01 ± 0,03
Acidity, °T	17,5 ± 0,15	18,0 ± 0,15
Number of diafiltration cycles	7	

Note.  $P \leq 0.05$  (\* – statistically significant differences between the groups).

Таблица 5  
Химический состав молока в весеннее время года (средние показатели)

Параметры	Исходное молоко	Молоко после диафильтрации
Белок общий, % (масс.)	3,02 ± 0,04*	3,02 ± 0,04*
Лактоза, % (масс.)	4,34 ± 0,02*	≤ 0,008 ± 0,002*
Жир, % (масс.)	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
Минеральные вещества, % (масс.)	0,80 ± 0,05	0,80 ± 0,05
Сухие вещества, % (масс.)	8,26 ± 0,03	3,93 ± 0,03
Кислотность, °Т	17,0 ± 0,15	17,5 ± 0,15
Количество циклов диафильтрации	5	

Примечание.  $P \leq 0,05$  (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 5  
Chemical composition of milk in the spring season (average values)

Parameters	The original milk	Milk after diafiltration
Total protein, % (wt.)	3.02 ± 0.04*	3.02 ± 0.04*
Lactose, % (wt.)	4.34 ± 0.02*	≤ 0.008 ± 0.002*
Fat, % (wt.)	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02
Mineral substances, % (wt.)	0.80 ± 0.05	0.80 ± 0.05
Dry matter, % (wt.)	8.26 ± 0.03	3.93 ± 0.03
Acidity, °T	17.0 ± 0.15	17.5 ± 0.15
Number of diafiltration cycles	5	

Note.  $P \leq 0.05$  (\* – statistically significant differences between the groups).

Изучение уровня лактозы в молочной продукции имеет значительное физиологическое значение, поскольку этот элемент является ключевым для кормления новорожденных животных и играет роль в метаболизме, включая синтез жиров и белков. В таблице 3 представлены данные о сезонных колебаниях уровня лактозы в молоке коров и его связи с производительностью.

После анализа этих данных можно заключить, что значительных колебаний уровня лактозы в молоке в связи с увеличением производительности не

наблюдается. При этом отчетливо прослеживалась сезонная динамика в каждой из групп животных. У коров 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й групп весной происходило уменьшение количества лактозы на 11,8, 11,6, 11,3, 11,1, 9,5% соответственно. В остальные сезоны содержание лактозы в пробах молока всех опытных коров было несколько меньше, чем в зимний период, но при этом было более стабильным. Следует отметить невысокий уровень содержания лактозы в молоке коров 1-й, 2-й и 3-й групп осенью.

Таблица 6  
Химический состав молока в летнее время года (средние показатели)

Параметры	Исходное молоко	Молоко после диафильтрации
Белок общий, % (масс.)	3,22 ± 0,04*	3,22 ± 0,04*
Лактоза, % (масс.)	4,68 ± 0,02*	≤ 0,006 ± 0,002*
Жир, % (масс.)	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
Минеральные вещества, % (масс.)	0,84 ± 0,05	0,84 ± 0,05
Сухие вещества, % (масс.)	8,84 ± 0,03	4,17 ± 0,03
Кислотность, °Т	17,5 ± 0,15	18,5 ± 0,15
Количество циклов диафильтрации	7	

Примечание. P ≤ 0,05 (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 6  
Chemical composition of milk in the summer (average values)

Parameters	The original milk	Milk after diafiltration
Total protein, % (wt.)	3.22 ± 0.04*	3.22 ± 0.04*
Lactose, % (wt.)	4.68 ± 0.02*	≤ 0.006 ± 0.002*
Fat, % (wt.)	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02
Mineral substances, % (wt.)	0.84 ± 0.05	0.84 ± 0.05
Dry matter, % (wt.)	8.84 ± 0.03	4.17 ± 0.03
Acidity, °T	17.5 ± 0.15	18.5 ± 0.15
Number of diafiltration cycles	7	

Note. P ≤ 0.05 (\* – statistically significant differences between the groups).

Таблица 7  
Химический состав молока в осеннее время года (средние показатели)

Параметры	Исходное молоко	Молоко после диафильтрации
Белок общий, % (масс.)	3,38 ± 0,04*	3,38 ± 0,04*
Лактоза, % (масс.)	4,60 ± 0,02*	≤ 0,008 ± 0,002*
Жир, % (масс.)	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
Минеральные вещества, % (масс.)	0,83 ± 0,05	0,83 ± 0,05
Сухие вещества, % (масс.)	8,91 ± 0,03	4,32 ± 0,03
Кислотность, °Т	17,5 ± 0,15	18,0 ± 0,15
Количество циклов диафильтрации	6	

Примечание. P ≤ 0,05 (\* – статистически значимые различия между группами).

Table 7  
Chemical composition of milk in the autumn season (average values)

Parameters	The original milk	Milk after diafiltration
Total protein, % (wt.)	3.38 ± 0.04*	3.38 ± 0.04*
Lactose, % (wt.)	4.60 ± 0.02*	≤ 0.008 ± 0.002*
Fat, % (wt.)	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.02
Mineral substances, % (wt.)	0.83 ± 0.05	0.83 ± 0.05
Dry matter, % (wt.)	8.91 ± 0.03	4.32 ± 0.03
Acidity, °T	17.5 ± 0.15	18.0 ± 0.15
Number of diafiltration cycles	6	

Note. P ≤ 0.05 (\* – statistically significant differences between the groups).

Установленное отличие содержания лактозы в разные периоды года позволяет дать рекомендации при разработке технологии получения безлактозного молока, основанной на методе диафильтрации. Учитывая полученную сезонную динамику количества лактозы в молоке, возможно варьировать количество циклов мембранного разделения. Эксперименты в лаборатории с обезжиренным молоком демонстрируют, что уменьшить уровень лактозы в продукте до уровня, соответствующего стандартам,

можно путем различных количеств циклов диафильтрации. Результаты исследований в зависимости от сезонных колебаний содержания лактозы в молоке представлены в таблицах с 4 по 7.

Как видно из результатов исследований (таблицы 4–7), снизить содержание лактозы в молоке до значений, соответствующих регламенту, возможно при разном количестве циклов проведения процесса диафильтрации. В зимний и летний периоды года необходимо 7 циклов, осенью – 6, а весной – 5.



Возможность сокращения количества циклов процесса диафильтрации в весенний и осенний периоды года позволит существенно снизить затраты на производстве, так как каждый цикл является достаточно трудоемким процессом.

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

Анализ показал, что состав молока у коров голштинской породы подвержен сезонным колебаниям и зависит от уровня их молочной выработки. При сниженной продуктивности молоко коров обладает более высоким содержанием жиров и белков. Различия в жировых компонентах молока у коров с разной продуктивностью связаны с временными периодами года. Максимальное содержание белка в молоке характерно для осеннего периода. В то же время уровень лактозы остается неизменным при увеличении молочной выработки, но проявляется заметная сезонная изменчивость.

Выявленные отличия содержания лактозы в разные периоды года позволили дать рекомендации при разработке технологии получения безлактозного молока, основанной на методе диафильтрации. Учитывая полученную сезонную динамику коли-

чества лактозы в молоке, возможно варьировать количество циклов мембранного разделения. На каждом этапе необходимо приложить значительные усилия, провести процедуру разделения молока с применением ультрафильтрации на две части: пермеат (смесь лактозы в воде) и концентрат (белки, жиры, остатки лактозы). После этого к концентрату добавляется чистая вода в том же объеме, что и извлеченный пермеат.

В связи с этим возможность сокращения количества циклов позволит существенно повысить экономическую составляющую процесса. Уровень лактозы имеет наибольшие значения в зимний период. По сравнению с весной разница достигает 8,0–11,3 %, с летом – 0,8–4,3 %, с осенью – 1,0–7,8 %. В связи с этим в весенний и осенний периоды получение безлактозного молока может осуществляться при исключении 1-2 циклов диафильтрации, что существенно скажется на экономии энергозатрат.

Таким образом, результаты исследований позволят существенно усовершенствовать технологию получения качественного продукта – низколактозного или безлактозного молока.

#### Библиографический список

1. Евдокимов И. А., Володин Д. Н., Гридин А. С., Куликова И. К., Анисимов Г. С. Современные подходы к классификации лактозосодержащего сырья // Сыроделие и маслоделие. 2022. № 4. С. 34–37. DOI: 10.31515/2073-4018-2022-4-34-37.
2. Мельникова Е. И., Рудниченко Е. С., Кузнецова С. А. Молочные ингредиенты – будущее молочной индустрии // Молочная промышленность. 2023. № 5. С. 13–15. DOI: 10.21603/1019-8946-2023-5-21.
3. Евдокимов И. А. Роль научных исследований в создании высокотехнологичных производств в молочной отрасли // Переработка молока. 2022. № 2 (268). С. 6–11. DOI: 10.33465/2222-5455-2022-2-6-11.
4. Алибеков Р. С., Овчинникова О. Ю. Лактозная непереносимость и безлактозное молоко // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. № 1. С. 37–43.
5. Пономарев А. Н., Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б., Самойлова В. Н. Молоко как сырье для производства пищевых ингредиентов. Часть 1. Фракционирование обезжиренного молока с целью получения ингредиентов // Молочная промышленность. 2021. № 4. С. 34–36. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-04-34-36.
6. Potoroko I. Yu., Kadi A. M. Y., Wang M., He M., Zhang Y., Chen X., Chnao T. Development of yogurt based on lactose-free milk with a functional bioactive compound // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2023. Vol. 1, No. 2. Pp. 57–64. DOI: 10.14529/food230207.
7. Тимкин В. А., Новопашин Л. А., Минин П. С. Некоторые аспекты разработки технологии безлактозного молока с применением баромембранных процессов // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2020. № 3 (8). С. 53–62.
8. Горина Т. А. Нормативно-техническая документация «Молоко питьевое низколактозное и безлактозное» // Переработка молока. 2022. № 4 (270). С. 30–32.
9. Храмцов А. Г., Анисимов С. В., Давыдянец Л. Е., Скороходова М. В., Ромахова В. Ю., Жилина М. А. Исследование изомеризации лактозы в процессе производства молочных продуктов // Молочная промышленность. 2023. № 4. С. 67–70. DOI: 10.31515/1019-8946-2023-04-67-70.
10. Донник И. М., Майзель С. Г., Бурачевский Н. В. Разработка технологии получения безлактозного молока методом диафильтрации // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 06. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-766-778.
11. Ряска В. К., Засемчук И. В., Семенченко С. В. Некоторые показатели молочной продуктивности коров разных генотипов // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (48). С. 85–90.
12. Lyashuk A. R. Comparative evaluation of milk productivity of Holstein cows different lines in different age periods // Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 6 (87). Pp. 189–195. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.189.

13. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Неверова О. П., Романова Н. В., Келин Ю. В. Корреляции признаков воспроизводства и продуктивности у голштинских коров в динамике по лактациям // Главный зоотехник. 2023. № 11 (244). С. 10–20. DOI: 10.33920/sel-03-2301-03.
14. Ivory R., Mangan D., McCleary B. V. Lactose concentration in low-lactose and lactose-free milk, milk products, and products containing dairy ingredients by high sensitivity enzymatic method (K-lolac), collaborative study: final action 2020.08 // Journal of AOAC International. 2022. Vol. 105, No. 6. Pp. 1617–1624. DOI: 10.1093/jaoacint/qsac070.
15. Gilibert-Oriol G. Ultrafiltration membrane cleaning processes: optimization in seawater desalination plants. Berlin, Boston: De Gruyter, 2021. DOI: 10.1515/9783110715149.
16. Kashaninejad M., Razavi S. M. A. The effect of pH and NaCl on the diafiltration performance of camel milk // International Journal of Dairy Technology. 2021. No. 74 (3). Pp. 2431–2438. DOI: 10.1111/1471-0307.12774.
17. Shinde G. P., Kumar R., Reddy K. R., Nadasabhapathi S., Dutt Semwal A. Effect of pulsed electric field processing on reduction of sulfamethazine residue content in milk // Journal of Food Science and Technology. 2022. Vol. 59, No. 5. Pp. 1931–1938. DOI: 10.1007/s13197-021-05207-0.
18. Виноградова Н. М., Автаева Т., Прохоров М. А., Горностаев Н. Е., Здюмаева Н. П. Особенности сезонной динамики отдельных биохимических и гематологических показателей коровы // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. № 1 (13). С. 49–53. DOI: 10.52025/2712-8679\_2024\_01\_49.
19. Канев П. Н., Горелик О. В., Харлап С. Ю., Горелик А. С., Ребезов М. Б. Сопряженность продуктивных признаков молочного скота голштинской породы // Аграрная наука. 2024. № 3. С. 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-92-97.
20. Gorelik O. V., Rebezov M. B., Kostomakhin N. M., Kharlap S. Yu., Belookov A. A., Belookova O. V., Kulmakova N. I. Influence of inbreeding degree on the milk yield efficiency // Аграрная наука. 2022. № 10. С. 69–76. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-69-76.
21. Горелик О. В., Харлап С. Ю. Динамика молочной продуктивности и сервис-периода по лактациям у коров разных линий // Аграрный вестник Урала. 2022. № 2 (217). С. 23–39. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-23-39.
22. Любимов А. И., Мартынова Е. Н., Азимова Г. В., Ачкасова Е. В., Ястребова Е. А. Молочная продуктивность дочерей быков-производителей голштинской породы разных линий // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 262–265.

#### Об авторах:

**Николай Викторович Бурачевский**, аспирант кафедры инфекционной и незаразной патологии, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0003-1388-3818, AuthorID 1130827. E-mail: [nikolaburachevsky@mail.ru](mailto:nikolaburachevsky@mail.ru)

**Сергей Гершевич Майзель**, доктор технических наук, профессор, директор НИИ агроэкономического развития, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0000-3838-9961, AuthorID 768905. E-mail: [maizel\\_sg@urgau.ru](mailto:maizel_sg@urgau.ru)

**Ирина Михайловна Донник**, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, Почетный работник высшего образования Российской Федерации, заведующая кафедрой инфекционной и незаразной патологии, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-8593-7470, AuthorID 313786. E-mail: [imdonnik@presidium.ras.ru](mailto:imdonnik@presidium.ras.ru)

#### References

1. Evdokimov I. A., Volodin D. N., Gridin A. S., Kulikova I. K., Anisimov G. S. Modern approaches to the classification of lactose-containing raw materials. *Cheese Making and Butter Making*. 2022; 4: 34–37. DOI: 10.31515/2073-4018-2022-4-34-37. (In Russ.)
2. Melnikova E. I., Rudnichenko E. S., Kuznetsova S. A. Dairy ingredients – the future of the dairy industry. *Dairy Industry*. 2023; 5: 13–15. DOI: 10.21603/1019-8946-2023-5-21. (In Russ.)
3. Evdokimov I. A. The role of scientific research in the creation of high-tech industries in the dairy industry. *Milk Processing*. 2022; 2 (268): 6–11. DOI: 10.33465/2222-5455-2022-2-6-11. (In Russ.)
4. Alibekov R. S., Ovchinnikova O. Yu. Lactose intolerance and lactose-free milk. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*. 2019; 1: 37–43.
5. Ponomarev A. N., Melnikova E. I., Stanislavskaya E. B., Samoilova V. N. Milk as a raw material for the production of food ingredients Part 1 Fractionation of skimmed milk to obtain ingredients. *Dairy Industry*. 2021; 4: 34–36. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-04-34-36. (In Russ.)
6. Potoroko I. Yu., Kadi A. M. Y., Wang M., He M., Zhang Y., Chen X., Chnao T. Development of yogurt based on lactose-free milk with a functional bioactive compound. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2023; 2: 57–64. DOI: 10.14529/food230207.

7. Timkin V. A., Novopashin L. A., Minin P. S. Some aspects of the development of lactose-free milk technology using baromembrane processes. *Scientific and Technical Bulletin: Technical Systems in Agriculture*. 2020; 3 (8): 53–62. (In Russ.)
8. Gorina T. A. Regulatory and technical documentation “Low-lactose and lactose-free drinking milk”. *Milk Processing*. 2022; 4 (270): 30–32. (In Russ.)
9. Khrantsov A. G., Anisimov S. V., Davydyants L. E., Skorokhodova M. V., Romakhova V. Yu., Zhilina M. A. Investigation of lactose isomerization in the production of dairy products. *Dairy Industry*. 2023; 4: 67–70. DOI: 10.31515/1019-8946-2023-04-67-70. (In Russ.)
10. Donnik I. M., Mayzel S. G., Burachevskiy N. V. Development of technology for producing lactose-free milk by diafiltration method. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (06): 766–778. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-766-778. (In Russ.)
11. Ryaska V. K., Zasemchuk I. V., Semenchenko S. V. Some indicators of dairy productivity of cows of different genotypes. *Bulletin of the Don State Agrarian University*. 2023; 2 (48): 85–90.
12. Lyashuk A. R. Comparative evaluation of milk productivity of holstein cows different lines in different age periods. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 6 (87): 189–195. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.189. (In Russ.)
13. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Neverova O. P., Romanova N. V., Kelin Yu. V. The association of productive and reproductive traits in cows of genealogical line Reflection Sovereign in different lactations. *Chief Animal Technician*. 2023; 11 (244): 10–20. DOI: 10.33920/sel-03-2301-03. (In Russ.)
14. Ivory R., Mangan D., McCleary B. V. Lactose Concentration in Low-Lactose and Lactose-Free Milk, Milk Products, and Products Containing Dairy Ingredients by High Sensitivity Enzymatic Method (K-LOLAC), Collaborative Study: Final Action 2020.08. *Journal of AOAC International*. 2022; 105 (6): 1617–1624. DOI: 10.1093/jaoacint/qsac070.
15. Gilibert-Oriol G. *Ultrafiltration membrane cleaning processes: optimization in seawater desalination plants*. Berlin, Boston: De Gruyter, 2021. DOI:10.1515/9783110715149.
16. Kashaninejad M., Razavi S. M. A. The effect of pH and NaCl on the diafiltration performance of camel milk. *International Journal of Dairy Technology*. 2021; 74 (3): 2431–2438. DOI: 10.1111/1471-0307.12774.
17. Shinde G. P., Kumar R., Reddy K. R., Nadasabhapathi S., Dutt Semwal A. Effect of pulsed electric field processing on reduction of sulfamethazine residue content in milk. *Journal of Food Science and Technology*. 2022; 59 (5): 1931–1938. DOI: 10.1007/s13197-021-05207-0.
18. Vinogradova N. M., Avtaeva T., Prokhorov M. A., Gornostaev N. E., Zdyumaeva N. P. Features of seasonal dynamics of individual biochemical and hematological parameters of a cow. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Region*. 2024; 1 (13): 49–53. DOI: 10.52025/2712-8679\_2024\_01\_49. (In Russ.)
19. Kanev P. N., Gorelik O. V., Kharlap S. Yu., Gorelik A. S., Rebezov M. B. The conjugation of productive features of dairy cattle of the Holstein breed. *Agrarian Science*. 2024; 3: 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-92-97. (In Russ.)
20. Gorelik O. V., Rebezov M. B., Kostomakhin N. M., Kharlap S. Yu., Belookov A. A., Belookova O. V., Kulmakova N. I. Influence of inbreeding degree on the milk yield efficiency. *Agrarian Science*. 2022; 10: 69–76. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-69-76. (In Russ.)
21. Gorelik O. V., Kharlap S. Yu. Dynamics dairy productivity and service period for lactation in cows of different lines. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 2 (217): 23–39. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-23-39. (In Russ.)
22. Lyubimov A. I., Martynova E. N., Azimova G. V., Achkasova E. V., Yastrebova E. A. Dairy productivity of daughters of Holstein bulls of different lines. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2021; 2 (88): 262–265. (In Russ.)

#### Authors' information:

**Nikolay V. Burachevskiy**, postgraduate of the department of infectious and non-infectious pathology, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0003-1388-3818, AuthorID 1130827.

*E-mail: nikolaburachevsky@mail.ru*

**Sergey G. Mayzel**, doctor of technical sciences, professor, director of the Research Institute of Agro-Economic Development, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0000-3838-9961,

AuthorID 768905. *E-mail: maizel\_sg@urgau.ru*

**Irina M. Donnik**, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of biological sciences, professor, honorary worker of higher education of the Russian Federation, head of the department of infectious and non-infectious pathology, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-8593-7470, AuthorID 313786. *E-mail: imdonnik@presidium.ras.ru*

## Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме

А. А. Зеленченкова, О. Н. Сивкина<sup>✉</sup>, С. Ю. Зайцев

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [solga8039@gmail.com](mailto:solga8039@gmail.com)

**Аннотация.** Интенсификация современного свиноводства требует оптимального поддержания физиологического состояния поголовья свиней. Степень интенсивности обменных процессов существенно отражается в показателях крови. Многие заболевания и состояния связаны с воспалением и окислительным стрессом, который в основном возникает из-за дисбаланса между образованием и нейтрализацией «прооксидантов». **Цель** исследования – оценка благополучия животных путем изучения показателей сыворотки и цельной крови молодняка свиней. Большое внимание уделено определению и взаимосвязи суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов (СКВА) с метаболитами крови, гематологическими и минеральными показателями крови в первый период откорма свиней. **Материалы и методы.** Цельная кровь и ее сыворотка от гибридов свиней (в первый период откорма) исследовалась на биохимическом анализаторе в ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста. **Научная новизна.** Впервые в работе измерены показатели СКВА сыворотки крови молодняка свиней, на базе которых предпринята попытка оценить антиоксидантный статус откармливаемого молодняка в сравнении с биохимическими, гематологическими и минеральными показателями крови. **В результате** исследования была выявлена взаимосвязь СКВА с альбуминами, эритроцитами, гемоглобином, железом и хлоридами. Важно подчеркнуть, что антиоксидантный статус в живом организме оценивается суммарной антиоксидантной активностью как эндогенных, так и экзогенных антиоксидантов, т. е. показатель СКВА является интегральным индикатором антиоксидантного статуса в целом. Требуются регулярные биохимические исследования крови, которые способствуют отслеживанию динамики жизнедеятельности организма, выявлению отклонений, патологических состояний, контролю эффективности лечебных и профилактирующих мероприятий.

**Ключевые слова:** свиньи, откорм, кровь, биохимия, гематология, антиоксидантный статус

**Благодарности.** Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ (проект № 20-16-00032-П), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

**Для цитирования:** Зеленченкова А. А., Сивкина О. Н., Зайцев С. Ю. Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 422–433. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433>.

**Дата поступления статьи:** 28.10.2024, **дата рецензирования:** 14.01.2025, **дата принятия:** 21.02.2025.



## Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs

A. A. Zelenchenkova, O. N. Sivkina<sup>✉</sup>, S. Yu. Zaytsev

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: solga8039@gmail.com

**Abstract.** Intensification of modern pig farming requires optimal maintenance of the physiological state of the pig population. The degree of intensity of metabolic processes is significantly reflected in blood parameters. Many diseases and conditions are associated with inflammation and oxidative stress, which mainly occurs due to an imbalance between the formation and neutralization of “prooxidants”. **The purpose** of the study was to assess animal welfare through the study of the parameters of serum and whole blood of young pigs. Much attention was paid to the determination and relationship of the total amount of water-soluble antioxidants (TASWA) with blood metabolites, hematological and mineral blood parameters in the first period of pig fattening. **Materials and methods.** The whole blood and its serum from hybrid pigs (in the first period of fattening) were studied at the automatic biochemical analyzer in the Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry. **Scientific novelty.** For the first time in the work, the TASWA indices of the blood serum of young pigs were measured (the average value was  $16.39 \pm 3.03$ ), on the basis of which an attempt was made to evaluate the antioxidant status of fattened young pigs in comparison with the biochemical, hematological and mineral indices of the blood. **Results.** The study revealed a relationship between TASWA and albumins, erythrocytes, hemoglobin, iron and chlorides. It is important to emphasize that the antioxidant status in a living organism is assessed by the total antioxidant activity of both endogenous and exogenous antioxidants, i. e. the TASWA index is an integral indicator of the antioxidant status as a whole. Regular biochemical blood tests are required, which help to track the dynamics of the body's vital functions, identify deviations, some pathological conditions, and control the effectiveness of therapeutic and preventive measures.

**Keywords:** pigs, fattening, blood, biochemistry, hematology, antioxidant status

**Acknowledgements.** The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 20-16-00032-P), <https://rscf.ru/project/20-16-00032/>

**For citation:** Zelenchenkova A. A., Sivkina O. N., Zaytsev S. Yu. Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 422–433. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433> (In Russ.)

**Date of paper submission:** 28.10.2024, **date of review:** 14.01.2025, **date of acceptance:** 21.02.2025.

### Введение (Introduction)

Популяция свиней в мире оценивается в 784 млн, включая экзотических, помесных и местных свиней [1]. Спрос на свинину как важный источник животного белка и других питательных веществ, по прогнозам ФАО, возрастет в ближайшем будущем [2].

Данные Росстата показывают, что поголовье свиней на конец июля 2024 года возросло на 2,6 % по сравнению с концом июля 2023 года [3]. В. Кравченко излагает аргументированные выводы по развитию свиноводческой отрасли в РФ, основываясь на статистических и литературных данных [4]. В целом продовольственная безопасность и социальная стабильность страны в значительной степени зависят от здорового и устойчивого роста свиноводческой отрасли, но при этом продуктивность поголовья достигается лучше всего, когда животные здоровы [5].

Исследование крови предоставляют существенную информацию о физиологических аспектах оценки здоровья животных, включая состояние активации нейроэндокринной и иммунной систем, на которые оказывают влияние как острые и (или) долгосрочные последствия неблагоприятных технологических, зоогигиенических, зоотехнических показателей условий содержания, так и потенциальные заболевания и генетические предрасположенности [6]. Например, белки являются продуктами генома, которые управляют многими клеточными процессами [7]. Протеом крови представляет собой сложный состав белков, включая классические белки крови и белки, секретируемые или вытекающие из тканей, включая гормоны, цитокины, адипокины, хемокины и факторы роста, которые координируют биологические процессы, связанные со здоровьем или болезнями [8]. Таким образом, протеом крови

обеспечивает текущее состояние организма, включая здоровье [9]. Некоторые исследования свиней показали, что протеом крови изменяется в зависимости от статуса заболевания [10; 11] и что уровни некоторых белков плазмы, таких как альфа-кислые гликопротеины, генетически отрицательно коррелируют со средним суточным приростом (от  $-0,72$  до  $-0,53$ ) [12].

Определение гематологических и биохимических профилей крови дает возможность информативно оценить состояние здоровья как отдельного индивидуума, так и группы животных или всего поголовья [15]. Для каждого параметра крови есть нормы или референсы. Важно, что на интервалы норм влияет множество внешних и внутренних факторов, необязательно выходя за пределы диапазона допустимых значений указывает на патологию. Референсные значения – это средние числа результатов анализа, полученных на конкретном анализаторе и с конкретным реагентом при массовом обследовании группы здоровых животных. Эталонные интервалы включают средние 95 % данных и исключают 5 % результатов клинически здоровых животных – это 2,5 % в верхней части и 2,5 % в нижней части. Если исследуемый параметр остался без контрольного интервала из лаборатории, то в таком случае полагаются на литературные данные, если они доступны, в качестве методики для интерпретации результатов испытаний. Отметим, что опубликованные «нормальные» значения могут не соответствовать результатам, которые получают в лаборатории [13; 14]. Образцы крови минимально инвазивны и позволяют проводить последовательную выборку одних и тех же исследуемых живых объектов и обеспечивают доступ к большому количеству показателей многочисленных физиологических функций. Таким образом, они предоставляют информацию для исследования благосостояния функционирования метаболических систем живого организма [16]. У свиней многие параметры крови являются наследуемыми [17; 18].

На гематологические и биохимические параметры могут влиять многие внутривидовые переменные. К ним относятся экологические и физиологические факторы, такие как возраст, порода, пол, рацион и условия содержания, а также воздействие патогенов и стресс [19; 21].

В последнее время особое внимание уделяют оценке антиоксидантного статуса организма в целях выявления стрессовой нагрузки на животное. Известно что, антиоксиданты – это природные или синтетические соединения, подавляющие или замедляющие окислительный процесс при относительно низких концентрациях, а также способные взаимодействовать со свободными радикалами, не нарушая целостности клеток организма. Их функции в организме: поглощать свободные радикалы, которые инициируют деградацию различных биологически активных соединений, прерывать цепную реакцию

аутоокисления и снижать локальную концентрацию  $O_2$  в продукте. Например, высокий уровень активных форм кислорода (АФК), образующихся в мышцах, может увеличить выброс гормонов стресса в кровоток, что, в свою очередь, стимулирует высвобождение ферментов, кортизола и катехоламинов. Окисление может привести к появлению посторонних привкусов и потере питательных веществ, а также сократить срок хранения продуктов. Антиоксиданты важны для снижения окислительного стресса у животных и предотвращения появления посторонних привкусов и прогорклого запаха, изменения цвета и накопления токсичных соединений в мясе во время обработки и хранения [20]. Антиоксидантный статус оценивает суммарную антиоксидантную активность как эндогенных, так и экзогенных антиоксидантов в живом организме [22]. Установление корреляционной зависимости переменных крови с суммарной концентрацией водорастворимых антиоксидантов может способствовать выявлению и прогнозированию ответных реакций как на стресс-факторы, так и на недостаток питательных компонентов в рационе откармливаемых свиней.

Цель представленной работы заключалась в оценке благополучия животных через показатели интервальных значений гематологических и биохимических параметров крови свиней-гибридов в первом периоде откорма со значениями СКВА (суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов).

#### Материалы и методы исследования (Methods)

Кровь исследовали в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста.

Объект исследования – свиньи в первый период откорма со средней живой массой 50 кг из Рязанской области. Предметом исследования служили цельная кровь и сыворотка крови от свиней в количестве 20 голов. Для биохимических исследований сыворотка однократно замораживалась при температуре  $-20$  °С.

Для получения биохимических показателей из сыворотки крови использовали автоматический биохимический анализатор Erba Mannheim automatic XL-640 (Lachema s.r.o., Чехия). Определяли следующие показатели: аланинтрансферазу (АЛТ) измеряли УФ-кинетическим методом без использования пиридоксальфосфата (ПФ) в соответствии с рекомендациями Международная федерация клинической химии (The International Federation of Clinical Chemistry, IFCC); аспаратаминотрансферазу (АСТ) измеряли УФ-кинетическим методом без использования ПФ, IFCC; щелочную фосфатазу (ЩФ) – с использованием 2-амино-2-метил-1-пропанола (АМП буфер, IFCC); общий белок – биуретовым методом; альбумин – реакцией с бромкрезоловым зеленым (БКЗ); креатинин – кинетическим методом Яффе; мочевины – кинетическим методом;

билирубин – количественным методом Walters и Gerarde; электролиты: кальций – методом APCE-NA30 III; фосфор – реакцией с молибдатом аммония; магний – реакцией с ксилитиновым голубым.

Анализатор имеет автономное программное обеспечение MultiXL, которое используется для выполнения и просмотра результатов измерений согласно инструкции производителя.

Из гематологических показателей определяли эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, гематокрит в цельной крови на гематологическом анализаторе ABC VET analyzer (Horiba ABZ, Франция) с использованием пакета реагентов Uni-Gem reagent kits (ReaMed, Россия).

Прибор «ЦветЯуза-01-АА» использовали для измерения содержания СКВА в сыворотке крови и применяли амперометрический метод в диапазоне от 0,2 до 4000 мкг, используя стандарт – галловую кислоту (ГлК). Величина сигнала линейно зависит от концентрации ГлК, что служит основой калибровочной кривой. Полученный сигнал отражает силу тока, которая наблюдается при окислении биологически активных молекул на электроде (потенциал рабочего электрода  $U = +1,3$  В). Детали калибровки и измерения СКВА описаны в известной методической работе [23].

Обработку результатов проводили при помощи пакета статистических программ STATISTICA 10 (Statistica 13RU, StatSoft, США).

Полученные референсные значения биохимических и гематологических показателей крови от свиней сравнивались с литературными нормами, а также производилась статистическая обработка данных по всей группе животных в количестве 20 голов. Результаты представлены согласно показателям описательной статистики, приведены среднее значение (Mean) и стандартное отклонение (SD), подсчитан коэффициент вариации (Cv). Нормальность распределения переменных оценивалась с использованием графических методов и теста Шапиро – Уилка на нормальность, принимая 5 % за уровень значимости. Данные с ненормальным распределением были преобразованы с использованием метода степенной функции Бокса – Кокса. Кластерный анализ проведен иерархическим агломеративным методом со следующими параметрами: меры близости – корреляция Пирсона, правило связи – одиночная связь. Графический процесс кластеризации представлен в виде дендрограммы.

### Результаты (Results)

Результаты исследований по 17 биохимическим, 4 гематологическим показателям и 1 антиоксидантному параметрам крови проанализированы во всех 20 образцах. Для характеристики получившихся данных мы использовали средние параметры, представленные в таблице 1.

Отметим, что при анализе физиолого-биохимических показателей (ФБП) у свиней, как и у других сельскохозяйственных животных, особое значение

имеет генотип, так как он может оказывать воздействие на изменчивость ФБП крови в онтогенезе, от которого во многом определяется саморегуляция животных и их жизнеспособность. [4]. На сегодняшний день имеется недостаток в обобщении данных по биохимии крови не только свиней разных пород, но и основных товарных гибридов [5]. Учитывая данный фактор, для интерпретации полученных данных в наших исследованиях мы ориентировались на справочные нормы.

Все свиньи, выделенные для отбора проб, не имели видимых внешних клинических признаков или физических отклонений по здоровью. Однако у некоторых свиней, включенных в это исследование, из биохимических параметров сыворотки крови наиболее изменчивы в выборке оказались показатели мочевины, триглицеридов, АСТ; в минеральном обмене – кальций и железо; в гематологических – лейкоциты, что может быть обусловлено как индивидуальными физиологическими особенностями, так и воздействием фактора погрешности при условии хранения и получения биобразцов. По словам Козлова В. А.: «Поскольку кровь и ее производные (сыворотка, плазма, клетки крови) являются наиболее часто используемым типом биоматериала при проведении биомедицинских исследований, изучение условий получения, хранения, размораживания крови является одним из актуальных направлений в области контроля качества биообразцов» [23].

Известно, что мочевина является основным конечным продуктом катаболизма метаболитических аминокислот и детоксикации аммиака в печени, однако концентрации азота мочевины у свиней значительно различаются [24]. Пиковая концентрация мочевины зависит от концентрации протеина в корме, уровня кормления и температуры окружающей среды [25; 26]. В исследованиях Пардо и др. [27] обнаружили, что длительный тепловой стресс может повысить уровень мочевины в плазме у иберийских свиней.

Наибольший интерес вызывает высокая изменчивость сывороточного уровня аспартатовой (АСТ) аминотрансферазы и лейкоцитов в крови у откармливаемого молодняка.

Уровень трансаминаз в сыворотке крови сильно варьируется и зависит от множества факторов, такие как пол, возраст и породная принадлежность, а также от факторов окружающей среды, таких как санитарно-гигиенические показатели, например вода, корма, животноводческие постройки. Уровень трансаминаз в сыворотке крови также подвержен суточным колебаниям. Кроме того, известно, что концентрации АЛТ и АСТ в кровотоке наследуются. Фактически исследования показали, что уровни АЛТ и АСТ в высокой степени наследуются, при этом аддитивные генетические эффекты составляют 48 % и 32 % вариации соответственно. Кроме того, результаты популяционного исследования на близнецах показали, что наследуемость АЛТ и АСТ не зависит от пола [28].

Таблица 1

**Биометрические данные крови откармливаемого молодняка свиней в первый период откорма (Mean ± SD, n = 20)**

Биология и биотехнологии

Показатели	Среднее ± SD	Cv, %
<b>Биохимический состав сыворотки крови</b>		
Общий белок, г/л	57,77 ± 3,28	6
Альбумин, г/л	34,23 ± 2,02	6
Глобулин, г/л	23,55 ± 3,23	14
A/G	1,49 ± 0,25	17
Мочевина, мМ/л	3,71 ± 0,97	26
Креатинин, мкМ/л	112,23 ± 11,97	11
Глюкоза, мМ/л	5,46 ± 0,86	16
Билирубин общий, мкМ/л	1,25 ± 0,23	18
Триглицериды, мМ/л	0,55 ± 0,14	27
Холестерин, мМ/л	2,77 ± 0,22	8
АЛТ, МЕ/л	50,84 ± 6,91	14
АСТ, МЕ/л	42,13 ± 16,43	39
Коэффициент де Ритиса АСТ/АЛТ	0,82 ± 0,24	29
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	440,50 ± 82,96	19
<b>Минеральный состав сыворотки крови</b>		
Кальций, мМ/л	2,49 ± 0,13	24
Фосфор, мМ/л	3,63 ± 0,26	7
Магний, мМ/л	0,93 ± 0,10	11
Хлориды, мМ/л	91,43 ± 2,38	3
Железо, мкМ/л	21,91 ± 6,99	32
<b>Гематологический состав цельной крови</b>		
Гемоглобин, г/л	120,75 ± 10,23	8
Гематокрит, %	31,16 ± 2,61	8
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> л	11,54 ± 4,54	39
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> л	6,56 ± 0,38	6
<b>Антиоксиданты сыворотки крови</b>		
Суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов (СКВА),	16,39 ± 3,03	19

Table 1

**Biometric blood data of fattened young pigs in the first fattening period (Mean ± SD, n = 20)**

Indicators	Mean ± SD	Cv, %
<b>Biochemical composition of blood serum</b>		
Total protein, g/l	57.77 ± 3.28	6
Albumin, g/l	34.23 ± 2.02	6
Globulin, g/l	23.55 ± 3.23	14
A/G	1.49 ± 0.25	17
Urea, mM/l	3.71 ± 0.97	26
Creatinine, μmol/l	112.23 ± 11.97	11
Glucose, mM/l	5.46 ± 0.86	16
Total bilirubin, μmol/l	1.25 ± 0.23	18
Triglycerides, mM/l	0.55 ± 0.14	27
Cholesterol, mM/l	2.77 ± 0.22	8
ALT, IU/L	50.84 ± 6.91	14
AST, IU/L	42.13 ± 16.43	39
The de Ritis coefficient AST/ALT	0.82 ± 0.24	29
Phosphatase, IU/L	440.50 ± 82.96	19
<b>The mineral composition of blood serum</b>		
Calcium, mM/l	2.49 ± 0.13	24
Phosphorus, mM/l	3.63 ± 0.26	7
Magnesium, mM/l	0.93 ± 0.10	11
Chlorides, mM/l	91.43 ± 2.38	3
Iron, μmol/l	21.91 ± 6.99	32
<b>Hematological composition of whole blood</b>		
HGB, g/l	120.75 ± 10.23	8
Hematocrit, %	31.16 ± 2.61	8
WBC, 10 <sup>9</sup> l	11.54 ± 4.54	39
RBC, 10 <sup>12</sup> l	6.56 ± 0.38	6
<b>Blood serum antioxidants</b>		
Total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA)	16.39 ± 3.03	19



Лейкоциты играют важную роль в защитных механизмах организма. В целом количество лейкоцитов (WBC) может относиться к инфекционным процессам, однако, по мнению некоторых авторов, транспортировка или содержание в неволе могут вызывать лейкоцитоз, связанный со стрессом [29; 30]. Широкий диапазон вариации количества лейкоцитов в нашем исследовании может быть обусловлен стрессом, вызванным процессом взятия проб.

Построение корреляционного кластерного анализа взаимосвязи антиоксидантной системы с биохимическими, гематологическими и минеральными компонентами крови выявил сближенность суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов с альбуминами, эритроцитами и гемоглобином, железом и хлоридами (рис. 1–3).

Свободные радикалы и активные формы кислорода (ROS), азота и хлора способствуют развитию нескольких возрастных заболеваний, вызывая окислительный стресс и окислительное повреждение. Окислительный стресс обычно определяется как нарушение прооксидантного и антиоксидантного баланса, приводящее к повреждению нуклеиновых кислот, белков и липидов [31].

Белок альбумин молекулярной массой 66 кДа включает в себя «585 аминокислот» [32] и обладает рядом важных функций: транспортирует ионы металлов (прежде всего кальция), различные насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, холестерин и его производные, желчные пигменты и другие биологически активные вещества. «Он является ключевым элементом в регуляции осмотического давления и распределении жидкости между

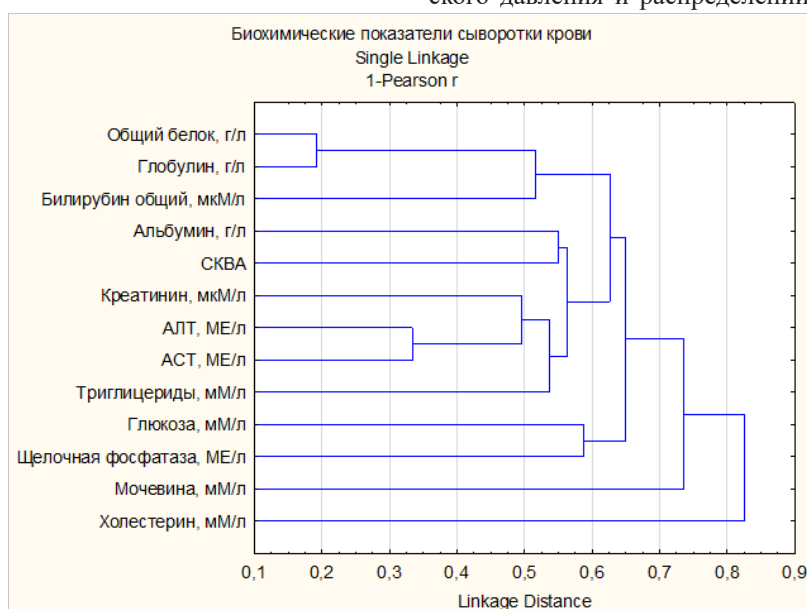


Рис. 1. Кластерный анализ биохимических показателей сыворотки крови со СКВА

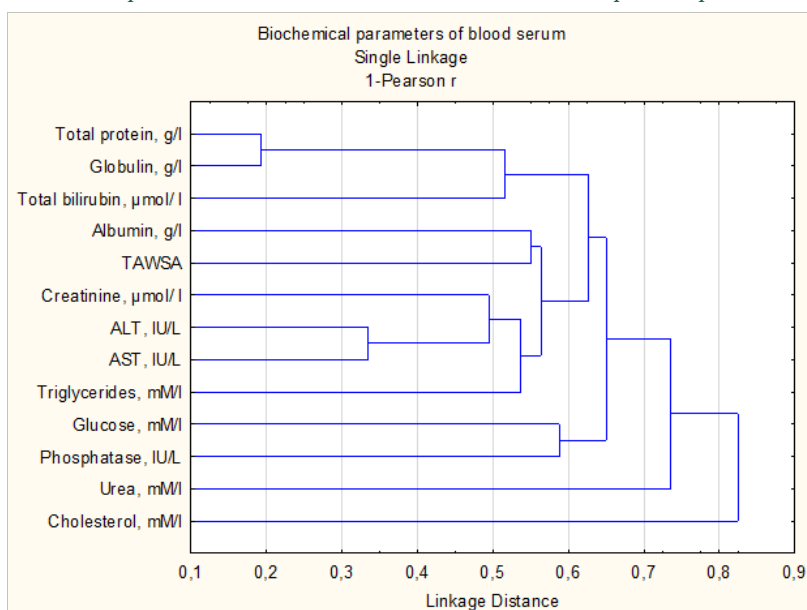


Fig. 1. Cluster analysis of biochemical parameters of blood serum, including TAWSA

различными отсеками» [32]. У здоровых животных в норме его концентрация в плазме составляет около половины от общего содержания белков и выглядит как равновесие между следующими биохимическими метаболическими процессами: синтезом и распадом его в печени, сопряженными с переносом его из гепатоцитов (после его синтеза) в кровь и в гепатоциты (из крови для его деградации). Помимо этого, альбумин обладает уникальными антиоксидантными свойствами и преобладает в плазме крови, что делает его главным антиоксидантом в жидкой ткани мезенхимной природы, которая известна тем, что «подвергается постоянному окислительному стрессу» [32]. Многочисленные исследования доказали, что «более 70 % активности сыворотки по улавливанию свободных радикалов было обусловлено альбумином сыворотки человека (HSA), что было подтверждено с помощью теста на гемолиз, вызванный свободными радикалами» [32].

Основным конечным продуктом катаболизма белка является азот мочевины, его уровень будет зависеть не только от количества получаемого сырого протеина, но и от сбалансированности аминокислот. Рацион, который содержит недостаточное количество триптофана, метионина и лизина, будет оказывать влияние на снижение количества альбуминов.

Известно, что метаболизм железа лежит в основе динамического взаимодействия между окислительным стрессом и антиоксидантами во многих патофизиологических процессах. Как дефицит железа, так и перегрузка железом могут влиять на окислительно-восстановительное состояние, эти состояния можно восстановить до физиологических состояний с помощью добавок железа и хелатирования железа соответственно.

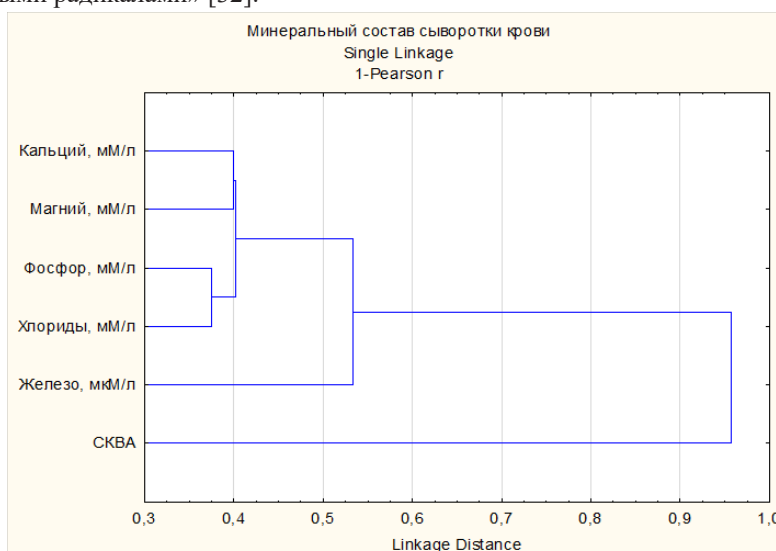


Рис. 2. Кластерный анализ минеральных компонентов сыворотки крови со СКВА

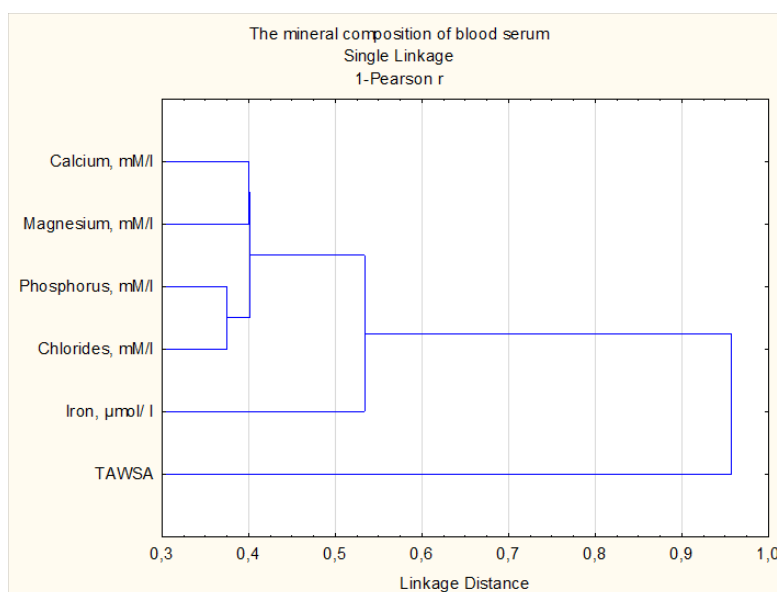


Fig. 2. Cluster analysis of mineral components of blood serum, including TAWSA

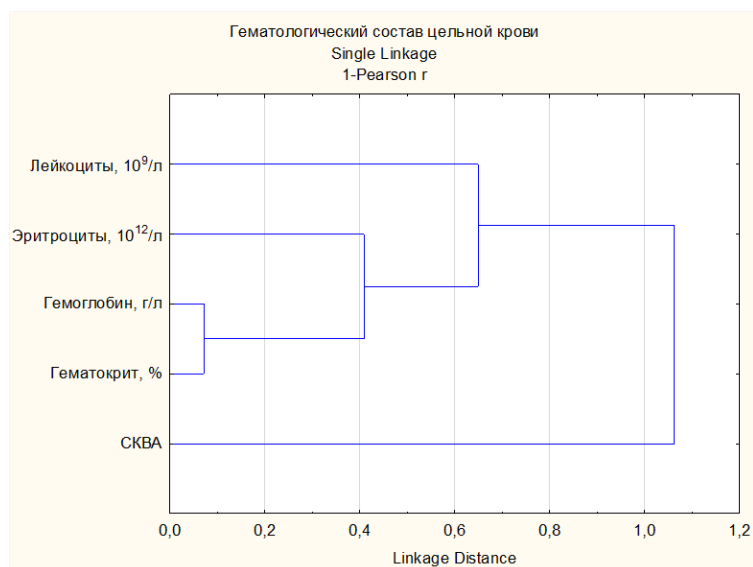


Рис. 3. Кластерный анализ гематологических показателей цельной крови со СКВА

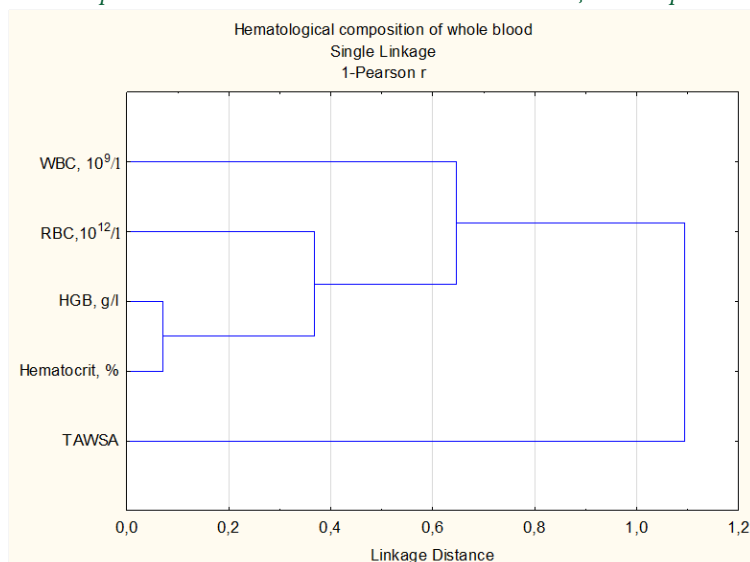


Fig. 3. Cluster analysis of hematology parameters of whole blood, including TAWSA

Эритроциты являются наиболее распространенными клетками в крови. Их основная функция – транспортировка кислорода к тканям. Чтобы выполнять свою работу, они содержат большое количество гемоглобина. Процесс связывания кислорода с железосодержащим белком гемоглобином регулируется в организме. К сожалению, гемоглобин подвержен быстрому распаду под действием супероксидных радикалов, в результате чего нарушается его транспортная и другие функции. Поэтому гемоглобину требуется защита антиоксидантами, которые должны поступать в организм свиней и других сельскохозяйственных животных с пищей. Как низкомолекулярные антиоксиданты, так и многочисленные ферментные системы, ослабляют действие «супероксидных радикалов», предупреждая существенные повреждения эритроцитов. Окислительно-восстановительный статус эритроцитов важен не только для поддержания адекватного снабжения кислородом каждой клетки ткани, но и для

поддержания здоровой системы кровообращения из-за взаимодействия эритроцитов с другими клетками крови и эндотелием сосудов [33].

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

За последние три десятилетия цели свиноводства были сосредоточены в первую очередь на продуктивности, эффективности кормления, качестве туши и воспроизводстве. Однако в последние годы цель свиноводства расширилась и теперь включает в себя такие связанные со здоровьем признаки, как устойчивость к болезням, поэтому исследование крови может дать информативную оценку при диагностике заболеваний. Биохимические и гематологические параметры крови являются полезными индикаторами здоровья человека и животных [34; 35]. За последнее десятилетие обширное внимание получил процесс мониторинга активности биомаркеров окислительного стресса [36]. В клинической практике ему приписывают значительную роль, так как биомаркеры окислительного стресса эффектив-

ны в дифференцировке диагноза или синдрома и в дальнейшем будут предложены различные схемы лечения [37]. Организация ВОЗ дала определение биомаркеру: «любое вещество, структура или процесс, которые могут быть измерены в организме или его продуктах и влиять или предсказывать частоту исхода или заболевания» [32]. Биомаркер окислительного стресса для достоверности должен соответствовать следующим требованиям: 1) быть значимым для клинического мониторинга; 2) проявлять специфичность к определенным патологи-

ческим состояниям; 3) соответствовать конкретной стадии заболевания. Количественная детекция каждого биомаркера в крови животных должна иметь высокую чувствительность и большую степень воспроизводимости.

Определение суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов крови способствует выявлению окислительно-восстановительного статуса организма. Кроме того, существует взаимосвязь СКВА с содержанием альбуминов, железа, хлоридов, эритроцитов и гемоглобина.

#### Библиографический список

1. Yu W., Jensen J. D. Sustainability implications of rising global pork demand // *Animal Frontiers*. 2022. No. 12 (6). Pp. 56–60. DOI: 10.1093/af/vfac070.
2. Oecd F. A. O. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022–2031. Paris: OECD Publishing, 2022. DOI: 10.1787/flb0b29c-en.
3. Ликарчук Ю. Росстат фиксирует рост поголовья свиней и птицы в сельхозорганизациях [Электронный ресурс] // *Ветеринария и жизнь*. 2024. URL: <https://vetandlife.ru/livestock/rosstat-fiksiruot-rost-pogolovya-svinej-i-pticy-v-selhozorganizacijah> (дата обращения: 23.10.2024).
4. Кравченко В. Нарастивание объемов свинины не прекращается // *Животноводство России*. 2023. № 6. С. 3–5.
5. Martins J. M., Fialho R., Albuquerque A., Neves J., Freitas A., Nunes J. T. Growth, blood, carcass and meat quality traits from local pig breeds and their crosses // *Animal*. 2020. No. 14 (3). Pp. 636–647. DOI: 10.1017/S1751731119002222.
6. Андреева О. Н., Меднова В. В., Хорошилова Т. И., Жариков А. Ю. Научные основы оптимизации условий содержания сельскохозяйственных животных и птицы // *Научный журнал молодых ученых*. 2020. № 3 (20). С. 23–32.
7. Lesk A. M. Introduction to protein architecture: the structural biology of proteins. Oxford: Oxford University Press, 2001. 347 p.
8. Lin H., Lee E., et al. Discovery of a cytokine and its receptor by functional screening of the extracellular proteome // *Science*. 2008. No. 320. Pp. 807–811. DOI: 10.1126/science.1154370.
9. Anderson N. L., Polanski M., et al. The human plasma proteome: a nonredundant list developed by combination of four separate sources // *Molecular & Cellular Proteomics*. 2004. №3. Pp. 311–326. DOI: 10.1074/mcp.M300127-MCP200.
10. Te Pas M. F., Koopmans S. J., et al. Plasma proteome profiles associated with diet-induced metabolic syndrome and the early onset of metabolic syndrome in a pig model // *PLoS One*. 2013. No. 8. Article number e73087. DOI: 10.1371/journal.pone.0073087.
11. Muk T., et al. Rapid proteome changes in plasma and cerebrospinal fluid following bacterial infection in preterm newborn pigs // *Frontiers in Immunology*. 2019. No. 10. Article number 2651. DOI: 10.3389/fimmu.2019.02651.
12. Clapperton M., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: heritability and associations with performance under different health status conditions // *Genetics Selection Evolution*. 2009. No. 41. Article number 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
13. Демидович А. П. Диагностическое значение биохимических показателей крови (белковый, углеводный, липидный обмен). Витебск: ВГАВМ, 2019. 36 с.
14. Мирошников М. В. Установление референтных интервалов биохимических и гематологических показателей некоторых лабораторных животных в доклинических исследованиях [Электронный ресурс] // GLP-PLANET: материалы VI конференции. Санкт-Петербург, 2022. URL: <https://glp-planet.com/wp-content/uploads/2022/07/miroshnikov-mv.pdf> (дата обращения: 18.03.2025).
15. Græsli A. R., et al. Haematological and biochemical reference intervals for free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Sweden // *BMC Veterinary Research*. 2014. No. 10. Article number 183. DOI: 10.1186/s12917-014-0183-x.
16. Perri A. M., O’Sullivan T. L., Harding J. C. S., Wood R. D., Friendship R. M. Hematology and biochemistry reference intervals for Ontario commercial nursing pigs close to the time of weaning // *The Canadian Veterinary Journal*. 2017. No. 58 (4). Pp. 371–376.
17. Montoro J. C., Solà-Oriol D., Muns R. Blood and faecal biomarkers to assess dietary energy, protein and amino acid efficiency of utilization by growing and finishing pigs // *Porcine Health Management*. 2022. No. 8. Article number 32. DOI: 10.1186/s40813-022-00273-y.



18. Clapperton M., Diack A. B., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: Heritability and associations with performance under different health status conditions // *Genetics Selection Evolution*. 2009. No. 41. Article number 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
19. Flori L., Gao Y., Laloč D. et al. Immunity traits in pigs: Substantial genetic variation and limited covariation // *PLoS ONE*. 2011. No. 6. Article number e22717. DOI: 10.1371/journal.pone.0022717.
20. Evans R. J. Porcine haematology: Reference ranges and the clinical value of the haematological examination in the pig // *Pig Journal*. 1994. No. 32. Pp. 52–57.
21. Abeyrathne E. D. N. S., et al. Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review // *Antioxidants*. 2022. No. 11 (5). Article number 1025. DOI: 10.3390/antiox11051025.
22. Friendship R., Lumsden J. H., McMillan I., Wilson M. R. Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine // *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1984. No. 48. Pp. 390–393.
23. Яшин А. Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей // *Аналитика*. 2021. № 11 (5). С. 370–371.
24. Whang K. Y., Easter R. A. Blood urea nitrogen as an index of feed efficiency and lean growth potential in growing-finishing swine // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000. No. 13. Pp. 811–816. DOI: 10.5713/ajas.2000.811.
25. Berschauer F., Close W. H., Stephens D. B. The influence of protein: energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig: 2. N metabolism at two environmental temperatures // *British Journal of Nutrition*. 1983. No. 49. Pp. 271–283. DOI: 10.1079/bjn19830033.
26. Zervas S., Zijlstra R. T. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and post-prandial plasma urea profiles in grower pigs // *Journal of Animal Science*. 2002. No. 80. Pp. 3238–3246. DOI: 10.2527/2002.80123238x.
27. Pardo Z., Seiquer I., et al. Exposure of growing Iberian pigs to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance // *Journal of Thermal Biology*. 2022. No. 106. Article number 103230. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2022.103230.
28. Козлова В. А., Метельская В. А., Покровская М. С., Ефимова И. А., Литинская О. А., Куценко В. А., Яровая Е. Б., Шальнова С. А., Драпкина О. М. Изучение стабильности биохимических маркеров при непрерывном длительном хранении сыворотки крови и при однократном размораживании // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020. № 19(6). С. 149–157.
29. Dubreuil P., Lapiere H. Biochemistry reference values for Quebec lactating dairy cows, nursing sows, growing pigs and calves // *Canadian Journal of Veterinary Research*. 1997. No. 61. Pp. 235–239.
30. Casas-Diaz E., Closa-Sebastia F., et al. Hematologic and biochemical reference intervals for wild boar (*Sus scrofa*) captured by cage trap // *Veterinary Clinical Pathology*. 2015. No. 44. Pp. 215–222. DOI: 10.1111/vcp.12250.
31. Sookoian S., Pirola C. J. Liver enzymes, metabolomics and genome-wide association studies: from systems biology to the personalized medicine // *World Journal of Gastroenterology*. 2015. No. 21 (3). Pp. 711–725. DOI: 10.3748/wjg.v21.i3.711.
32. Sies H. Oxidative stress: from basic research to clinical application // *American Journal of Medicine*. 1991. No. 91. Pp. 31–38.
33. Roche M., Rondeau P., Singh N. R., et al. The antioxidant properties of serum albumin // *FEBS Letters*. 2008. No. 582 (13). Pp. 1783–1787.
34. Möller M. N., Orrico F., Villar S. F., et al. Oxidants and Antioxidants in the Redox Biochemistry of Human Red Blood Cells // *ACS Omega*. 2023. No. 8 (1). Pp. 147–168. DOI: 10.1021/acsomega.2c06768.
35. Chen Y., et al. Plasma protein levels of young healthy pigs as indicators of disease resilience // *Journal of Animal Science*. 2023. No. 101. Article number sd014. DOI: 10.1093/jas/skad014.
36. Didkowska A., et al. Determination of hematological and biochemical values blood parameters for European bison (*Bison bonasus*) // *PLoS One*. 2024. No. 19 (5). Article number e0303457. DOI: 10.1371/journal.pone.0303457.
37. Dalle-Donne I., Rossi R., Colombo R., Giustarini D., Milzani A. Biomarkers of oxidative damage in human disease // *Clinical Chemistry*. 2006. No. 52. Pp. 601–623. DOI: 10.1373/clinchem.2005.061408.

#### Об авторах:

**Алена Анатольевна Зеленченко**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0001-8862-3648, AuthorID 850103. E-mail: aly4383@mail.ru

**Ольга Николаевна Сивкина**, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика

Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0009-0009-3831-4412, AuthorID 1219960.  
E-mail: solga8039@gmail.com

**Сергей Юрьевич Зайцев**, доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, руководитель группы аналитической биохимии отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0003-1533-8680, AuthorID 42976.  
E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru

### References

1. Yu W., Jensen J. D. Sustainability implications of rising global pork demand. *Animal Frontiers*. 2022; 12 (6): 56–60. DOI: 10.1093/af/vfac070.
2. Oecd F. A. O. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022–2031*. Paris: OECD Publishing. 2022. DOI: 10.1787/flb0b29c-en.
3. Likarchuk Yu. Rosstat records an increase in the number of pigs and poultry in agricultural organizations *Veterinary medicine and life* [Internet]. 2024 [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://vetandlife.ru/livestock/rosstat-fiksiruuet-rost-pogolovya-svinej-i-pticy-v-selhozorganizacijah>. (In Russ.)
4. Kravchenko V. The increase in pork volumes does not stop. *Animal Husbandry of Russia*. 2023; 6: 3–5. (In Russ.)
5. Martins J. M., Fialho R., Albuquerque A., Neves J., Freitas A., Nunes J. T. Growth, blood, carcass and meat quality traits from local pig breeds and their crosses. *Animal*. 2020; 14 (3): 636–647. DOI: 10.1017/S1751731119002222.
6. Andreeva O. N., Mednova V. V., Khoroshilova T. I., Zharikov A. Yu. Scientific bases of optimization of conditions for keeping farm animals and poultry. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2020; 3 (20): 23–32. (In Russ.)
7. Lesk A. M. *Introduction to protein architecture: the structural biology of proteins*. Oxford: Oxford University Press, 2001. 347 p.
8. Lin H., Lee E., et al. Discovery of a cytokine and its receptor by functional screening of the extracellular proteome. *Science*. 2008; 320: 807–811. DOI: 10.1126/science.1154370.
9. Anderson N. L., Polanski M., et al. The human plasma proteome: a nonredundant list developed by combination of four separate sources. *Molecular & Cellular Proteomics*. 2004; 3: 311–326. DOI: 10.1074/mcp.M300127-MCP200.
10. Te Pas M. F., Koopmans S. J., et al. Plasma proteome profiles associated with diet-induced metabolic syndrome and the early onset of metabolic syndrome in a pig model. *PLoS One*. 2013; 8: e73087. DOI: 10.1371/journal.pone.0073087.
11. Muk T., et al. Rapid proteome changes in plasma and cerebrospinal fluid following bacterial infection in preterm newborn pigs. *Frontiers in Immunology*. 2019; 10: 2651. DOI: 10.3389/fimmu.2019.02651.
12. Clapperton M., et al. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: heritability and associations with performance under different health status conditions. *Genetics Selection Evolution*. 2009; 41: 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
13. Demidovich A. P. *Diagnostic value of blood biochemical parameters (protein, carbohydrate, lipid metabolism)*. Vitebsk: VGAVM, 2019. 36 p. (In Russ.)
14. Miroshnikov M. V. Establishment of reference intervals of biochemical and hematological parameters of some laboratory animals in preclinical studies. *GLP-PLANET: proceedings of the VI conference* [Internet]. Saint Petersburg, 2022 [cited 2022]; 2. Available from: <https://glp-planet.com/wp-content/uploads/2022/07/miroshnikov-mv.pdf>. (In Russ.)
15. Græsli A. R., et al. Haematological and biochemical reference intervals for free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Sweden. *BMC Veterinary Research*. 2014; 10: 183. DOI: 10.1186/s12917-014-0183-x.
16. Perri A. M., O’Sullivan T. L., Harding J. C. S., Wood R. D., Friendship R. M. Hematology and biochemistry reference intervals for Ontario commercial nursing pigs close to the time of weaning. *The Canadian Veterinary Journal*. 2017; 58 (4): 371–376.
17. Montoro J. C., Solà-Oriol D., Muns R. Blood and faecal biomarkers to assess dietary energy, protein and amino acid efficiency of utilization by growing and finishing pigs. *Porcine Health Management*. 2022; 8: 32. DOI: 10.1186/s40813-022-00273-y.
18. Clapperton M., Diack A. B., Matika O., Glass E. J., Gladney C. D., Mellencamp M. A., Hoste A., Bishop S. C. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: Heritability and associations with performance under different health status conditions. *Genetics Selection Evolution*. 2009; 41: 54. DOI: 10.1186/1297-9686-41-54.
19. Flori L., Gao Y., Laloë D., Lemonnier G., Leplat J.J., Teillaud A., Cossalter A. M., Laffitte J., Pinton P., de Vaureix C., et al. Immunity traits in pigs: Substantial genetic variation and limited covariation. *PLoS ONE*. 2011; 6: e22717. DOI: 10.1371/journal.pone.0022717.

20. Evans R. J. Porcine haematology: Reference ranges and the clinical value of the haematological examination in the pig. *Pig Journal*. 1994; 32: 52–57.
21. Abeyrathne E. D. N. S., et al. Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review. *Antioxidants*. 2022; 11 (5): 1025. DOI: 10.3390/antiox11051025.
22. Friendship R., Lumsden J. H., McMillan I., Wilson M. R. Hematology and biochemistry reference values for Ontario swine. *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1984; 48: 390–393.
23. Yashin A. Ya. Methodology for determining the antioxidant activity of food products and biological fluids. *Analytics*. 2021; 11 (5): 370–371. DOI: 10.22184/2227-572X.2021.11.5.370.384. (In Russ.)
24. Whang K. Y., Easter R. A. Blood urea nitrogen as an index of feed efficiency and lean growth potential in growing-finishing swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2000; 13: 811–816. DOI: 10.5713/ajas.2000.811.
25. Berschauer F., Close W. H., Stephens D. B. The influence of protein: energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig: 2. N metabolism at two environmental temperatures. *British Journal of Nutrition*. 1983; 49: 271–283. DOI: 10.1079/bjn19830033.
26. Zervas S., Zijlstra R. T. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *Journal of Animal Science*. 2002; 80: 3238–3246. DOI: 10.2527/2002.80123238x.
27. Pardo Z., Seiquer I., et al. Exposure of growing Iberian pigs to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance. *Journal of Thermal Biology*. 2022; 106: 103230. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2022.103230.
28. Kozlova V. A., Metelskaya V. A., Pokrovskaya M. S., Efimova I. A., Litinskaya O. A., Kutsenko V. A., Yarovaya E. B., Shalnova S. A., Drapkina O. M. Studying the stability of biochemical markers during continuous long-term storage of blood serum and with single defrosting. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2020; 19 (6): 149–157. DOI: 10.15829/1728-8800-2020-2736. (In Russ.)
29. Dubreuil P., Lapierre H. Biochemistry reference values for Quebec lactating dairy cows, nursing sows, growing pigs and calves. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 1997; 61: 235–239.
30. Casas-Diaz E., Closa-Sebastia F., et al. Hematologic and biochemical reference intervals for wild boar (*Sus scrofa*) captured by cage trap. *Veterinary Clinical Pathology*. 2015; 44: 215–222. DOI: 10.1111/vcp.12250.
31. Sookoian S., Pirola C. J. Liver enzymes, metabolomics and genome-wide association studies: from systems biology to the personalized medicine. *World Journal of Gastroenterology*. 2015; 21 (3): 711–725. DOI: 10.3748/wjg.v21.i3.711.
32. Sies H. Oxidative stress: from basic research to clinical application. *American Journal of Medicine*. 1991; 91: 31–38. DOI: 10.1016/0002-9343(91)90281-2.
- Roche M., Rondeau P., Singh N. R., et al. The antioxidant properties of serum albumin. *FEBS Letters*. 2008; 582 (13): 1783–1787. DOI: 10.1016/j.febslet.2008.04.057.
- Möller M. N., Orrico F., Villar S. F., et al. Oxidants and Antioxidants in the Redox Biochemistry of Human Red Blood Cells. *ACS Omega*. 2023; 8 (1): 147–168. DOI: 10.1021/acsomega.2c06768
- Chen Y., et al. Plasma protein levels of young healthy pigs as indicators of disease resilience. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: sd014. DOI: 10.1093/jas/skad014.
- Didkowska A., et al. Determination of hematological and biochemical values blood parameters for European bison (*Bison bonasus*). *PLoS One*. 2024; 19 (5): e0303457. DOI: 10.1371/journal.pone.0303457.
- Dalle-Donne I., Rossi R., Colombo R., Giustarini D., Milzani A. Biomarkers of oxidative damage in human disease. *Clinical Chemistry*. 2006; 52: 601–623. DOI: 10.1373/clinchem.2005.061408.

#### Authors' information:

**Alena A. Zelenchenkova**, candidate of agricultural sciences, senior researcher, head of the laboratory of fundamental principles of nutrition of agricultural animals and fish, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia;

ORCID 0000-0001-8862-3648, AuthorID 850103. *E-mail: aly4383@mail.ru*

**Olga N. Sivkina**, junior researcher at the department of physiology and biochemistry of agricultural animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0009-3831-4412, AuthorID 1219960. *E-mail: solga8039@gmail.com*

**Sergey Yu. Zaitsev**, doctor of biological sciences, doctor of chemical sciences, professor, leading researcher, head of the analytical biochemistry group of the department of physiology and biochemistry of agricultural animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Russia;

ORCID 0000-0003-1533-8680, AuthorID 42976. *E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru*

## Исследование влияния белковой композиции на качественные показатели хлеба

О. В. Зинина<sup>1</sup>✉, О. П. Неверова<sup>1</sup>, Я. Ли<sup>2</sup>, Ф. Чжан<sup>2</sup>, М. Б. Ребезов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай

<sup>3</sup> Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

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

**Аннотация.** Рост спроса на функциональные и специализированные продукты предопределяет расширение ассортимента данной продукции, в том числе хлебобулочных изделий, как основного продукта питания в потребительской корзине. Одним из направлений улучшения состава хлеба является введение в состав растительных белков. Однако большинство растительных белков имеет определенные недостатки в своем аминокислотном составе, что приводит к неполноценному питанию. **Научная новизна** работы заключается в получении новых научных данных о влиянии белковой композиции из разных растительных белков на качественные показатели и биологическую ценность хлеба. **Целью исследований** является установление влияния оптимизированной по аминокислотному составу белковой композиции на качественные показатели хлеба. **Методы исследований.** Для получения белковой композиции с оптимальным аминокислотным составом использовали конопляный, соевый, льняной, подсолнечный и тыквенный белки. Состав белковых композиций оптимизировали с использованием симплекс-метода с установлением линейных ограничений на искомые переменные и поиском экстремума линейной целевой функции – аминокислотного сора лизина как наиболее дефицитного в растительных белках. Полученные белковые композиции добавляли в состав хлеба пшеничного взамен 10 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта. У опытных образцов хлеба определяли органолептические и физико-химические показатели по общепринятым методикам. **Результаты.** Установлено, что в опытных образцах хлеба существенно увеличилось содержание белка (до 59,8 % по отношению к контрольному образцу), при этом содержание жира и влаги изменялось незначительно. При этом все образцы по исследуемым показателям оказались в пределах нормируемых значений согласно ГОСТ Р 58233-2018. Результаты органолептических исследований позволили установить приемлемость опытных образцов хлеба: вкус и запах оставались приятными, несмотря на специфические органолептические свойства используемых белков, существенно изменился только цвет хлеба по сравнению с контрольным образцом. Таким образом, результаты исследований показали перспективность комбинирования различных растительных белков и введения полученных композиций в состав хлебобулочных изделий для повышения пищевой и биологической ценности.

**Ключевые слова:** аминокислотный состав, незаменимые аминокислоты, конопляный белок, соевый белок, льняной белок, подсолнечный белок, тыквенный белок

**Для цитирования:** Зинина О. В., Неверова О. П., Ли Я., Чжан Ф., Ребезов М. Б. Исследование влияния белковой композиции на качественные показатели хлеба // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 434–448. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-434-448>.

**Дата поступления статьи:** 23.12.2024, **дата рецензирования:** 13.01.2025, **дата принятия:** 15.01.2025.



## Research the effect of protein composition on qualitative indicators of bread

O. V. Zinina<sup>1</sup>✉, O. P. Neverova<sup>1</sup>, Y. Li<sup>2</sup>, F. Zhang<sup>2</sup>, M. B. Rebezov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Northeast Agricultural University, Harbin, China

<sup>3</sup> V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉E-mail: zinoks-vl@mail.ru

**Abstract.** The growing demand for functional and specialized products predetermines the expansion of the range of these products, including bakery products, as the main food product in the consumer basket. One of the areas of improving the composition of bread is the introduction of plant proteins into the composition. However, most plant proteins have certain deficiencies in their amino acid composition, which leads to malnutrition. **The scientific novelty** of the study lies in obtaining new scientific data on the influence of protein composition from different plant proteins on the quality indicators and biological value of bread. **The purpose** of the research is to establish the effect of a protein composition optimized for the amino acid composition on the quality indicators of bread. **Research methods.** Hemp, soy, flax, sunflower, and pumpkin proteins were used to obtain a protein composition with an optimal amino acid composition. The protein compositions were optimized using the simplex method with the establishment of linear constraints on the desired variables and the search for the extremum of the linear objective function – the amino acid score of lysine, as the most deficient in plant proteins. The resulting protein compositions were added to the composition of wheat bread instead of 10 % of premium wheat flour. The experimental bread samples were tested for sensory and physicochemical parameters using generally accepted methods. **Results.** The results of the researches of the obtained bread samples showed that the protein content increased significantly (up to 59.8 % compared to the control sample), while the fat and moisture content changed insignificantly. At the same time, all samples were within the standard values according to GOST R 58233-2018 for the studied parameters. The results of the sensory studies made it possible to establish the acceptability of the experimental bread samples: the taste and smell remained pleasant, despite the specific sensory properties of the proteins used, only the color of the bread changed significantly compared to the control sample. Thus, the research results showed the promise of combining various plant proteins and introducing the resulting compositions into bakery products to increase their nutritional and biological value.

**Keywords:** amino acid composition, essential amino acids, hemp protein, soy protein, flax protein, sunflower protein, pumpkin protein

**For citation:** Zinina O. V., Neverova O. P., Li Y., Zhang F., Rebezov M. B. Research the effect of protein composition on qualitative indicators of bread. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 434–448. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-434-448>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 23.12.2024, **date of review:** 13.01.2025, **date of acceptance:** 15.01.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Уже многие годы на рынке пищевой продукции сохраняется тренд здорового питания. Все большее число потребителей отдает предпочтение натуральным и органическим, специализированным, обогащенным и функциональным продуктам [1; 2]. В то же время одним из основных продуктов в потребительской корзине традиционно остаются хлеб и хлебобулочные изделия. Производители данной продукции также, следуя мировым тенденциям, совершенствуют рецептуры, делая хлебобулочные изделия более полезным продуктом [3]. Помимо введения в состав хлеба витаминов и минеральных веществ, биологически активных компонентов, замены пшеничной муки нетрадиционными видами растительного сырья, актуальными являются разработки высокобелкового хлеба [4; 5].

Белок является незаменимым макронутриентом. Выполняя многочисленные жизненно важные функции в организме человека, белок и содержащиеся в нем аминокислоты играют важную роль в питании [6; 7]. Рекомендуемая суточная норма потребления белка (RDA) для здоровых взрослых составляет около 0,8 г/кг массы тела. RDA меняется в зависимости от возраста, физического состояния и физиологической среды. Например, спортсменам необходимо потреблять больше белка, чем обычным людям (около 1,2–1,6 г/кг массы тела) для поддержания организма при высокоинтенсивных тренировках [8; 9]. С повышением осведомленности людей о своем здоровье они больше не удовлетворяются потреблением достаточного количества белка, а уделяют больше внимания его качеству и пищевой ценности.

В качестве источников пищевого белка можно использовать как животный, так и растительный белок [10]. Животный белок обладает более высокой питательной ценностью и является наиболее важным источником пищевого белка для человека. Однако с развитием науки и техники в мире и непрерывным ростом населения, которое, как ожидается, увеличится до 9 миллиардов человек к 2050 году, глобальный спрос на белок продолжает увеличиваться [11]. Производство и переработка животного сырья вызывают ряд этических и экологических проблем, а чрезмерное потребление обработанного мяса людьми увеличивает риск хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, рак прямой кишки и т. д. [12; 13]. Поэтому существует острая необходимость в замене белков животного происхождения.

Растительный белок не только питателен и имеет достаточно высокую усвояемость. Препараты растительного белка обладают преимуществами по сравнению с животным белком: высокое содержание белка, низкое содержание жира и отсутствие холестерина и антибиотиков [14]. В то же время растительные белки содержат различные биологически активные вещества, например пептиды, которые обладают антибактериальными, противовоспалительными, гипогликемическими и антиоксидантными свойствами. Исследования показывают, что употребление большего количества растительных белков может эффективно предотвращать рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и нарушение липидного обмена [15]. По сравнению с животным белком растительный белок легче производить и перерабатывать, он более экологичен, поэтому является отличной альтернативой животному белку [16].

Одной из самых больших проблем, с которыми сталкивается современная переработка пищевых продуктов, является большое количество отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе переработки. Они часто выбрасываются или используются в качестве корма для животных. Большое количество белков, жиров, пищевых волокон, углеводов и различных биологически активных веществ имеют соответствующие функции или питательные свойства и могут быть повторно использованы или переработаны и добавлены в пищу [17]. Извлечение растительного белка из побочных продуктов и отходов, образующихся в процессе переработки растений, является надежным и эффективным решением для устойчивого использования, которое может не только удовлетворить растущий спрос на белок во всем мире, но и способствовать сокращению пищевых отходов и снижению нагрузки на природную окружающую среду, что соответствует принципам циркулярной экономики и устойчивого развития [18; 19].

Однако большинство растительных белков имеет определенные недостатки в своем аминокислотном составе, что приводит к неполноценному питанию. Например, соевый белок и некоторые другие растительные белки имеют низкое содержание серосодержащих аминокислот, а некоторые белки злаков имеют низкое содержание триптофана, треонина и лизина. Также известно, что растительные белки могут содержать антипитательные факторы. Обозначенные проблемы в определенной степени ограничивают применение растительных белков [6; 20].

К распространенным растительным белкам в основном относятся белки, полученные из бобовых (сои, гороха, нута и др.), зерновых (пшеницы, риса, овса и др.) и масличных семян (льняного, кунжутного, конопляного, тыквенного и др.) [15]. Комбинируя различные растительные белки, можно оптимизировать аминокислотный состав смеси, получая полноценный белковый компонент с превосходной пищевой ценностью [21].

Рассмотрим некоторые перспективные источники белка, которые возможно комбинировать с целью получения белковых смесей с достаточным содержанием всех незаменимых аминокислот.

#### **Соевый белок**

Соевые бобы относятся к семейству бобовых и являются одной из важнейших масличных культур в России [22]. Содержание белка в сое составляет 30–40 %, жиров – 18–20%, а общее количество растворимых/нерастворимых углеводов составляет – 25–30 % [23; 24]. Соевые бобы не только богаты различными питательными веществами, но также содержат множество биологически активных веществ, таких как изофлавоны, фитостерины и лецитин [24]. Соевый белок можно разделить на обезжиренный соевый шрот (50–55 %), концентрат соевого белка (65–70 %) и изолят соевого белка (85–90 %) в зависимости от содержания белка. Он является наиболее часто используемым сырьем для текстурированного растительного белка благодаря таким свойствам, как гелеобразование, пенообразование и эмульгирование. В то же время соевый белок сбалансирован по питательной ценности, его усвояемость уступает только животному белку, он содержит все незаменимые аминокислоты и различные биологические активные пептиды, поэтому концентрат соевого белка и изолят соевого белка уже давно используются в различных пищевых продуктах для замены животных белков [25]. Однако соевый белок имеет низкое содержание серосодержащих аминокислот (цистеина и метионина), а также содержит природные антипитательные факторы, такие как фитиновая кислота и дубильные вещества. Он также содержит аллергенные факторы и бобовый запах, что ограничивает дальнейшее развитие разработки и применения соевого белка [26].

### Конопляный белок

Конопля (каннабис) – однолетнее растение семейства конопляных. Оно имеет долгую историю использования в медицинских и текстильных целях. В настоящее время широко культивируется в Европе, Китае и Центральной Азии [27]. Психоактивный компонент тетрагидроканнабинол (ТГК) является основной причиной ограничения применения каннабиса. Промышленно выращивают нетоксичные виды конопли, которые используют в производстве продуктов питания [28]. Семена конопли богаты питательными веществами и содержат около 20–25 % белка, 25–35 % жира (в основном полиненасыщенные жирные кислоты), 25–30 % углеводов и 10–15 % нерастворимой клетчатки [29]. Белок конопли экстрагируется из обезжиренной конопляной муки, побочного продукта экстракции масла семян конопли, и в основном состоит из конопляного глобулина и альбумина [30]. Белок конопли содержит 9 незаменимых аминокислот и особенно богат аргинином (около 12 %), который способствует здоровью сердечно-сосудистой системы человека, а также большое количество серосодержащих аминокислот (3,5–5,9 %). Данный белок имеет лучшую общую усвояемость (переваривание пепсином и панкреатином), чем соевый белок, гипоаллергенен и является высококачественным белком [31]. Хотя белок конопли имеет высокую пищевую ценность, он обладает низкими технологическими свойствами. Поэтому при использовании в текстурированном растительном белке его следует комбинировать с другими растительными белками, чтобы повысить пищевую ценность и улучшить технологические свойства для получения высококачественного текстурированного растительного белка.

### Тыквенный белок

Тыква – масличная культура и основная товарная культура, выращиваемая в тропическом и умеренном поясах, все ее части съедобны [32]. Побочными продуктами переработки тыквы обычно являются кожура и семена тыквы. Семена тыквы имеют высокую пищевую ценность. Они богаты питательными веществами и содержат 37–46 % жира, 25–37 % белка и 18–25 % углеводов. Также содержат множество биохимических веществ, таких как фитостеролы, токоферолы, каротин и лютеин, которые оказывают благотворное влияние на здоровье человека [33; 34]. Семена тыквы в основном используются для экстракции масла, но побочные продукты после экстракции масла могут быть использованы в качестве богатого источника тыквенного белка. Некоторые исследования показали, что белок в семенах тыквы обладает антибактериальными, противовоспалительными и гипогликемическими функциями [34]. Белковые фракции муки из семян тыквы содержат полный комплекс аминокислот, в том числе незаменимых, что обуславливает их вы-

сокую биологическую ценность. Лимитирующими аминокислотами являются триптофан, валин, изолейцин и серосодержащие аминокислоты. Таким образом, тыквенный белок имеет большой потенциал развития в применении текстурированного растительного белка и в составе белковых смесей.

### Подсолнечный белок

Семена подсолнечника являются одной из пяти крупнейших масличных культур в мире с годовым объемом производства более 50 млн тонн. Они богаты различными питательными веществами, такими как масло (содержание жира может достигать 50 %), белок, витамины и пищевые волокна [35]. Однако применение белков подсолнечника до сих пор ограничивается в основном кормами для животных. Одним из основных ограничений является большое количество в семенах подсолнечника фенольных соединений, которые легко окисляются при обычной щелочной экстракции белка, что приводит к обесцвечиванию и нежелательному зеленому или коричневому цвету белков, а также снижению питательных и функциональных свойств. Присутствие фенольных соединений в концентратах подсолнечного белка также снижает водосвязывающую способность, стабильность эмульсии и твердость геля [36; 37]. Аминокислотный состав подсолнечника относительно хорошо сбалансирован, за исключением умеренного дефицита лизина. Установлено, что семена подсолнечника в основном благодаря своей полифенольной активности обладают значительной антиоксидантной способностью. Два наиболее распространенных запасных белка в семенах подсолнечника – это 11S-глобулины (60–80 %) и 2S-альбумины (20–30 %) [38]. Усвояемость белка из подсолнечного жмыха у свиней варьировались от 72 % до 82 %, у крыс усвояемость аминокислот изолята подсолнечника очень высокая (95 %). По данным исследований, усвояемость данного изолята белка у здоровых людей достигает 90 % [39].

### Льняной белок

Лен (*Linum usitatissimum*) – однолетнее травянистое растение, принадлежащее к семейству льновых. Это продовольственная культура, широко распространенная в более прохладных районах мира. Семена льна в основном используются в медицинских целях, а также в качестве источника масла и корма для животных [40]. Льняное семя богато ω-3 жирной кислотой, витамином E, пищевыми волокнами, лигнанами и другими функциональными питательными веществами. Льняное семя содержит 20–25 % белка и 40–45 % жирных кислот [41; 42]. Белок льняного семени является основным компонентом, составляющим 18–22 % веса семян, в зависимости от сорта и географического происхождения. Белок льняного семени состоит из двух белковых фракций: солерастворимой фракции с высокой молекулярной массой (11S–12S); и водорас-



творимой фракции с низкой молекулярной массой (1,6S–2S). Белок льняного семени богат аспарагиновой кислотой, глутаминовой кислотой, лейцином и аргинином; благодаря своему аминокислотному профилю предполагает потенциальную пользу для здоровья населения, страдающего от недоедания, и людей с аллергией на молочный белок; кроме того, обладает многообещающими функциональными свойствами, такими как высокая эмульгирующая и пенообразующая способность, что делает его привлекательным ингредиентом для пищевой промышленности [43; 44].

Таким образом, растительные белки являются перспективным белковым сырьем для получения полноценных белковых композиций с высокой биологической ценностью. Следуя тенденциям расширения ассортимента продуктов здорового питания, хлеб как традиционный продукт является важным объектом для реализации современных подходов к обогащению продуктов (в том числе белком).

Столкнувшись с проблемами увеличения спроса на белок, вызванного сегодняшним ростом населения, необходимо найти устойчивые источники растительного белка. Большое количество отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе современной пищевой промышленности, являются заслуживающими внимания устойчивыми источниками белка, особенно жмыхи и шроты, образующиеся при переработке масличных культур.

В будущем переработку и использование этих побочных продуктов следует увеличить для сокращения отходов ресурсов и достижения устойчивого развития.

Комбинирование различных растительных белков для получения оптимальных по составу композиций в соответствии с потребностями в питании разных групп населения является перспективным направлением.

Целью исследований является установление влияния оптимизированной по аминокислотному составу белковой композиции на качественные показатели хлеба.

## Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследования являются:

– белковые композиции, составленные на основе соевого, тыквенного, подсолнечного, конопляного и льняного белков, производимых компанией «Эвофуд» (Пермь, Россия) (рис. 1);

– образцы хлеба с добавлением белковой композиции (опытные образцы) и без добавления (контрольный образец), изготовленные по базовой рецептуре: на 100 г муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта 1 г соли пищевой поваренной и 1 г прессованных дрожжей. У опытных образцов 10 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта заменено белковой композицией.

Состав белковых композиций оптимизировали с использованием симплекс-метода с установлением линейных ограничений на искомые переменные ( $X_1$  – подсолнечный белок,  $X_2$  – льняной белок,  $X_3$  – тыквенный,  $X_4$  – соевый белок,  $X_5$  – конопляный белок) и поиском экстремума линейной целевой функции – аминокислотного сора лизина как наиболее дефицитного в растительных белках (таблица 1).

Исходными данными при решении задачи линейного программирования являлся аминокислотный состав используемых видов белков, установленный производителем, а также данные «идеального» белка согласно данным ФАО ВОЗ [45].

В процессе оптимизации рассчитывался аминокислотный скор каждой незаменимой аминокислоты как отношение количества определенной аминокислоты в белковой смеси к ее количеству в эталонном белке, умноженному на 100 %.

Для введения в состав хлеба выбраны 2 композиции, полученные в результате оптимизации.

В условиях лаборатории кафедры биотехнологии и пищевых продуктов ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» (Екатеринбург, Россия) получены опытные и контрольный образец хлеба по технологической схеме, представленной на рис. 2.

В ходе исследований проведены 3 выпечки хлеба, по 3 изделия каждого наименования в каждой выпечке.



Рис. 1. Внешний вид используемых растительных белков  
Fig. 1. Appearance of the plant proteins used



Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42X_1 + 5,56X_2 + 5,78X_3 + 4,60X_4 + 2,93X_5 \geq 4,00$
Содержание изолейцина	$5,55X_1 + 4,63X_2 + 4,68X_3 + 4,50X_4 + 2,35X_5 \geq 3,00$
Содержание лейцина	$8,09X_1 + 6,40X_2 + 8,87X_3 + 8,00X_4 + 3,95X_5 \geq 6,10$
Содержание метионина и цистеина	$4,60X_1 + 3,69X_2 + 3,42X_3 + 3,60X_4 + 1,56X_5 \geq 2,30$
Содержание треонина	$4,51X_1 + 3,96X_2 + 3,65X_3 + 3,50X_4 + 1,91X_5 \geq 2,50$
Содержание триптофана	$1,65X_1 + 1,50X_2 + 2,10X_3 + 1,26X_4 + 0,67X_5 \geq 0,66$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93X_1 + 6,30X_2 + 10,35X_3 + 8,80X_4 + 4,31X_5 \geq 4,10$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \cdot (4,56X_1 + 4,48X_2 + 4,52X_3 + 6,00X_4 + 2,13X_5) / 4,80 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1$

Table 1

Balance equations for optimization of protein composition

Indicator	Equation
Content of valine	$6.42X_1 + 5.56X_2 + 5.78X_3 + 4.60X_4 + 2.93X_5 \geq 4.00$
Content of isoleucine	$5.55X_1 + 4.63X_2 + 4.68X_3 + 4.50X_4 + 2.35X_5 \geq 3.00$
Content of leucine	$8.09X_1 + 6.40X_2 + 8.87X_3 + 8.00X_4 + 3.95X_5 \geq 6.10$
Content of methionine and cysteine	$4.60X_1 + 3.69X_2 + 3.42X_3 + 3.60X_4 + 1.56X_5 \geq 2.30$
Content of threonine	$4.51X_1 + 3.96X_2 + 3.65X_3 + 3.50X_4 + 1.91X_5 \geq 2.50$
Content of tryptophan	$1.65X_1 + 1.50X_2 + 2.10X_3 + 1.26X_4 + 0.67X_5 \geq 0.66$
Content of phenylalanine and tyrosine	$8.93X_1 + 6.30X_2 + 10.35X_3 + 8.80X_4 + 4.31X_5 \geq 4.10$
Lysine amino acid score (target function)	$100 \cdot (4.56X_1 + 4.48X_2 + 4.52X_3 + 6.00X_4 + 2.13X_5) / 4.80 \rightarrow 100$
Formation of a product unit	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1$

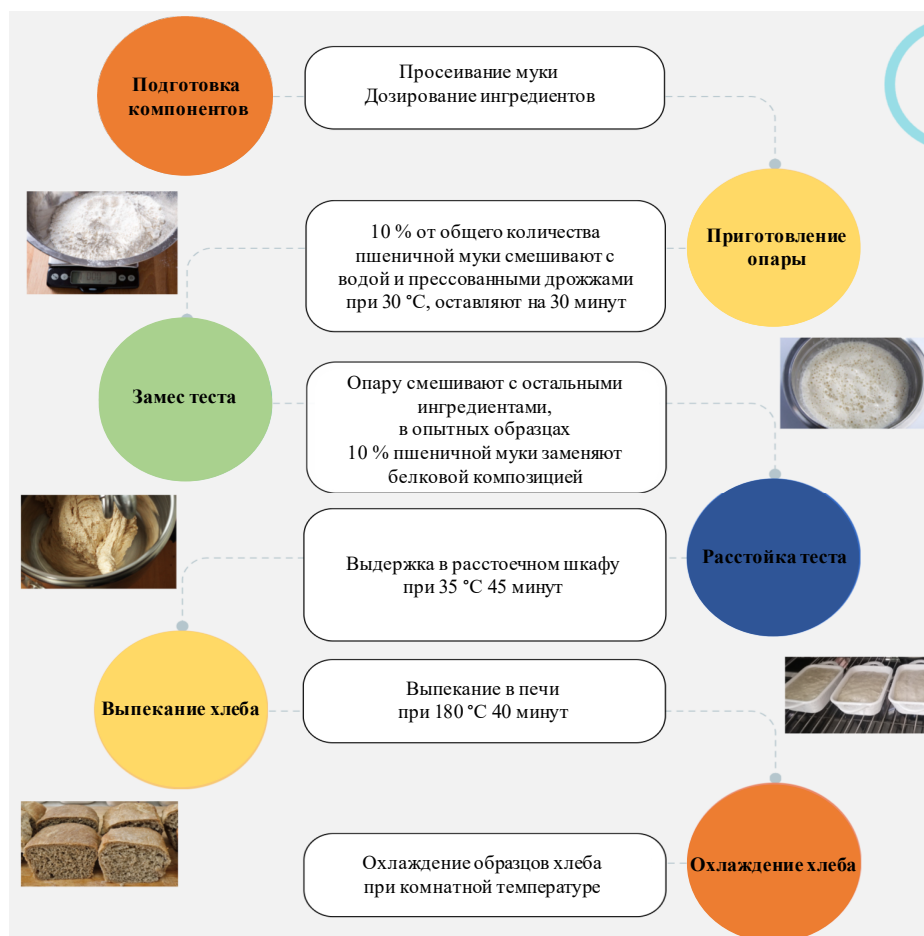


Рис. 2. Технологическая схема получения образцов хлеба



Fig. 2. Technological scheme for obtaining bread samples

Таблица 2  
Состав и показатели  
белковых композиций

Показатель	Белковая композиция	
	№ 1	№ 2
Состав, %:		
подсолнечный белок	44,54	–
льняной белок	11,88	8,43
тыквенный белок	15,19	5,98
конопляный белок	–	24,46
соевый белок	28,39	61,13
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %:		
валина	142,6	108,6
изолейцина	167,0	133,2
лейцина	130,9	113,6
метионина и цистеина	175,2	134,7
треонина	161,1	126,4
триптофана	240,9	179,7
фенилаланина и тирозина	214,5	184,9
лизина	103,2	100,8
Массовая доля белка, %	55,49	76,59

Table 2  
Composition and indicators  
of protein compositions

Indicator	Protein composition	
	No. 1	No. 2
Ingredients, %:		
<i>sunflower protein</i>	44.54	–
<i>flax protein</i>	11.88	8.43
<i>pumpkin protein</i>	15.19	5.98
<i>hemp protein</i>	–	24.46
<i>soy protein</i>	28.39	61.13
Amino acid score of essential amino acids, %:		
<i>valine</i>	142.6	108.6
<i>isoleucine</i>	167.0	133.2
<i>leucine</i>	130.9	113.6
<i>methionine and cysteine</i>	175.2	134.7
<i>threonine</i>	161.1	126.4
<i>tryptophan</i>	240.9	179.7
<i>phenylalanine and tyrosine</i>	214.5	184.9
<i>lysine</i>	103.2	100.8
Mass fraction of protein, %	55.49	76.59



Контрольный образец хлеба  
Control sample of bread

Опытный образец хлеба № 1  
Experimental sample of bread No. 1

Опытный образец хлеба № 2  
Experimental sample of bread No. 2

Рис. 3. Вид на разрезе образцов хлеба  
Fig. 3. Cross-sectional view of bread samples

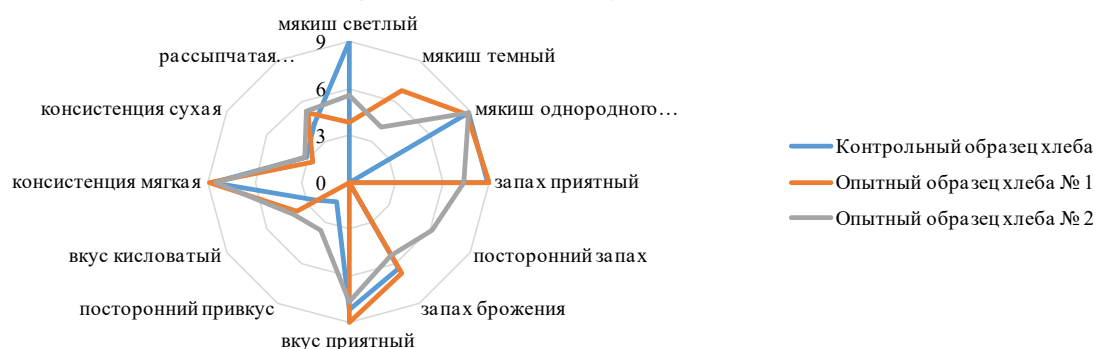


Рис. 4. Результаты дескриптивного тестирования

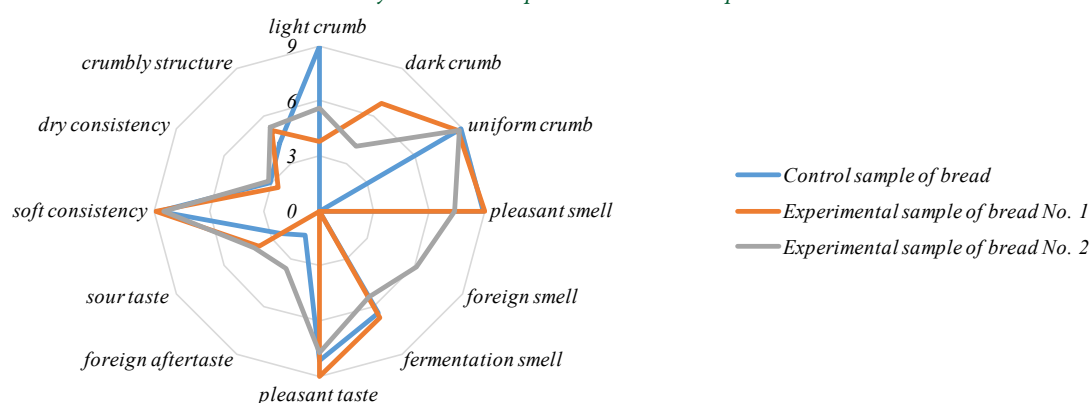


Fig. 4. Descriptive testing results

Дескриптивное тестирование согласно ГОСТ ISO 6658-2016 применяли для установления отличий органолептических показателей опытных образцов от контрольного неподготовленными испытателями (потенциальными потребителями хлеба). В тестировании принимали участие 12 испытуемых, которым было предложено оценить у исследуемых образцов хлеба четыре дескриптора с тремя характеристиками по 9-балльной шкале [46] с равным весом: цвет мякиша (светлый, темный, однородный), запах (приятный, с посторонним запахом, с запахом брожения), вкус (приятный, с посторонним привкусом, кисловатый), консистенция (мягкая, сухая, рассыпчатая).

У образцов хлеба определяли физико-химические показатели согласно ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» по стандартным методикам:

- массовую долю белка – методом Кельдаля;
- массовую долю жира – по ГОСТ 5668-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира»;
- пористость – по ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости»;
- кислотность – по ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности»;
- влажность мякиша – по ГОСТ 21094-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности».

Каждое измерение проводили трехкратно. Значения вероятности  $p \leq 0,05$  приняты для указания статистической значимости. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали однофакторный дисперсионный анализ и тест Тьюки.

Таблица 3

Физико-химические показатели образцов хлеба

Показатель	Требование по ГОСТ Р 58233-2018	Значение показателя		
		Контрольный образец	Опытный образец хлеба № 1	Опытный образец хлеба № 2
Массовая доля белка, %	–	10,250 ± 0,377 <sup>a</sup>	14,450 ± 0,448 <sup>b</sup>	16,38 ± 0,493 <sup>c</sup>
Массовая доля жира, %	–	1,650 ± 0,036 <sup>a</sup>	1,670 ± 0,038 <sup>a</sup>	1,620 ± 0,036 <sup>a</sup>
Влажность мякиша, %	Не более 45,0	42,900 ± 0,783 <sup>a</sup>	43,810 ± 0,850 <sup>a</sup>	44,060 ± 0,493 <sup>a</sup>
Пористость, %	Не менее 72,0	72,70 ± 1,79 <sup>a</sup>	74,60 ± 1,86 <sup>a</sup>	75,10 ± 1,74 <sup>a</sup>
Кислотность, град.	Не более 3,0	1,38 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,43 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,41 ± 0,02 <sup>a</sup>

Примечание. Средние значения в строке без общего надстрочного индекса имеют достоверные различия ( $p < 0,05$ ) при анализе с помощью однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Table 3

Physico-chemical indicators of bread samples

Indicator	Requirement according to GOST R 58233-2018	Value of indicator		
		Control sample of bread	Experimental sample of bread No. 1	Experimental sample of bread No. 2
Protein content, %	–	10.250 ± 0.377 <sup>a</sup>	14.450 ± 0.448 <sup>b</sup>	16.38 ± 0.493 <sup>c</sup>
Fat content, %	–	1.650 ± 0.036 <sup>a</sup>	1.670 ± 0.038 <sup>a</sup>	1.620 ± 0.036 <sup>a</sup>
Crumb moisture, %	No more 45.0	42.900 ± 0.783 <sup>a</sup>	43.810 ± 0.850 <sup>a</sup>	44.060 ± 0.493 <sup>a</sup>
Porosity, %	No less 72.0	72.70 ± 1.79 <sup>a</sup>	74.60 ± 1.86 <sup>a</sup>	75.10 ± 1.74 <sup>a</sup>
Acidity, degrees	No more 3.0	1.38 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.41 ± 0.02 <sup>a</sup>

Note. Mean values in a row without a common superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ) when analyzed using one-way ANOVA and Tukey's test.

Результаты (Results)

Получение белковых смесей с оптимальным аминокислотным составом и полным набором незаменимых аминокислот исключительно на основе растительных белков является сложной задачей. В белках бобовых культур дефицитными являются серосодержащие аминокислоты, в белках злаков относительно небольшое содержание треонина, а уровень лизина в растительных белках ниже, чем в животных [47]. Эти аспекты были приняты во внимание при подборе различных видов растительных белков при составлении белковых композиций и определении функции цели (аминокислотный скор лизина) при оптимизации их состава.

Показатели оптимизированных по аминокислотному составу композиций представлены в таблице 2.

После составления белковых смесей в соответствии с полученными рецептурами, вводили их в состав хлеба взамен муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

Вид на разрезе образцов хлеба представлен на рис. 3.

Все образцы хлеба получились с несколько выпуклой верхней коркой, поверхность без трещин и подрывов с варьированием цвета корки от светло-желтого у контрольного образца до темно-коричневого у опытного образца № 1. Мякиш у всех образцов хлеба пропеченный, эластичный, без комочков и непромеса.

Как видно на рис. 3, пористость более развита у опытных образцов хлеба.

Результаты сравнительного дескриптивного тестирования органолептических показателей представлены на рис. 4.

В целом опытные образцы обладали приятным вкусом и запахом, но цвет более темный, что связано с особенностями используемых видов белков.

Полученные результаты оценки физико-химических показателей позволили выявить существенные различия в содержании белка в опытных образцах хлеба по сравнению с контролем (таблица 3).

Так, в опытном образце № 1 массовая доля белка увеличилась на 40,9 % по сравнению с контрольным образцом, а в опытном образце № 2 – на 59,8 %, что связано с высоким содержанием белка в используемом большем количестве в составе композиции № 2 соевом концентрате. Аналогичные результаты получены при исследовании хлеба с добавлением в хлебопекарную смесь 9,4 г изолята соевого белка на 100 г смеси. Содержание белка повысилось примерно на 60 %, но при этом выявлены лимитирующие аминокислоты метионин и цистеин [48]. При добавлении в хлеб муки из семян конопли содержание белка увеличивалось с 11,11 % в контрольном образце до 18,18 % в образце с заменой 40 % пшеничной муки конопляной [46].

В опытных образцах хлеба отмечена несколько более высокая влажность мякиша, однако полученные значения статистически незначимы ( $p < 0,05$ ). Также не выявлено существенных отличий между образцами по таким показателям, как массовая доля жира, пористость и кислотность. При этом все образцы по исследуемым показателям оказались в



пределах нормируемых значений согласно ГОСТ Р 58233-2018. Введение в состав хлеба 10 % муки из семян конопли показало похожие результаты, пористость значительно не изменилась по сравнению с образцом из пшеничной муки и составила 71,89 %, так же как и кислотность, которая установлена на уровне 1,68 град., что, однако, несколько выше, чем у исследуемых нами образцов хлеба [46]. При замене 10 % пшеничной муки в рецептуре хлеба нутовой отмечена пористость на уровне 72,4 %, что оказалось выше, чем у контрольного образца (67,4 %) [49].

Таким образом, результаты исследований показали перспективность комбинирования различных растительных белков и введения полученных композиций в состав хлебобулочных изделий для повышения пищевой и биологической ценности.

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

Для получения белковой композиции с высоким содержанием всех незаменимых аминокислот использовали конопляный, льняной, тыквенный, соевый и подсолнечный белки. Оптимизированы рецептуры белковых композиций с использованием математического моделирования и принятием в качестве функции цели аминокислотного скорализина как наиболее дефицитной аминокислоты в растительном белке.

Полученные белковые композиции вводили в состав хлеба пшеничного взамен муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта. Результаты исследований полученных образцов хлеба показали, что существенно увеличилось содержание белка (до 59,8 % по отношению к контрольному образцу), при этом содержание жира и влаги изменялось незначительно.

Результаты органолептических исследований позволили установить приемлемость опытных образцов хлеба: вкус и запах оставались приятными, несмотря на специфические органолептические свойства используемых белков, существенно изменился только цвет хлеба по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, введение белковых композиций из разных видов растительных белков позволяет получить полноценный аминокислотный состав добавки, заменяющей в составе хлебобулочных изделий углеводную составляющую и глютен, преимущественно входящие в состав пшеничной муки.

Также следует отметить богатый витаминно-минеральный состав используемых белковых добавок, что принесет в готовый продукт дополнительные полезные свойства, однако их точное количественное содержание и удовлетворенность суточной потребности являются дальнейшими исследованиями.

#### **Библиографический список**

1. Фаткуллин Р. И., Калинина И. В., Науменко Н. В., Попова Н. В., Науменко Е. Е., Иванисова Е., Васильев А. К. Исследование антиоксидантных свойств обогащенных хлебобулочных изделий // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 167–172. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-167-172.
2. Зинина О. В., Павлова Я. С., Ребезов М. Б., Чанов И. М., Николина А. Д., Нурымхан Г. Н. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 173–179. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179.
3. Mesta-Corral M., Gómez-García R., Balagurusamy N., Torres-León C., Hernández-Almanza A. Y. Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges // *Foods*. 2024. Vol. 13. Article number 2062. DOI: 10.3390/foods13132062.
4. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения // *Аграрная наука*. 2023. № 6. С. 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125.
5. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий // *Аграрная наука*. 2023. № 1 (8). С. 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142.
6. Langyan S., Yadava P., Khan F. N., Dar Z. A., Singh R., Kumar A. Sustaining protein nutrition through plant-based foods // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 8. Article number 772573. DOI: 10.3389/fnut.2021.772573.
7. Зайцева Н. В., Зеленкин С. Е., Суворов Д. В., Шур П. З., Лир Д. Н., Цао Ц. Х., Нгуен К. Х. Сравнительная характеристика аминокислотного состава белка из традиционных источников и энтомопротеина: расчетные данные // *Вопросы питания*. 2023. № 92 (5). С. 39–47. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5-39-47.
8. Ferrari L., Panaite S. A., Bertazzo A., Visioli F. Animal- and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact // *Nutrients*. 2022. Vol. 14 (23). Article number 5115. DOI: 10.3390/nu14235115.
9. Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12 (2). Pp. 998–1003. DOI: 110.31838/IJPR/2020.12.02.0152.
10. Полубесова М. А., Мечтаева Е. В., Мещеряков А. А., Журавлева А. З., Ситнов В. Ю., Чернов А. Д. Альтернативные источники белка: основные характеристики, экологичность и безопасность // *Пищевая промышленность*. 2024. 1. С. 39–46. DOI: 10.52653/PPI.2024.1.1.007.

11. Hadidi M., Aghababaei F., McClements D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins // *Food Hydrocolloids*. 2023. Vol. 145 (5). Article number 109132. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109132.
12. Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E. N., Maievas H. A., Berrios J. J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption: a review // *Foods*. 2021. Vol. 10 (5). Article number 1096. DOI: 10.3390/foods10051096.
13. Zhang J., Chen Q., Kaplan D. L., Wang Q. High-moisture extruded protein fiber formation toward plant-based meat substitutes applications: Science, technology, and prospect // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 128. Pp. 202–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.008.
14. Su T., Le B., Zhang W., Bak K. H., Soladoye P. O., Zhao Z., Zhao Y., Fu Y., Wu W. Technological challenges and future perspectives of plant-based meat analogues: From the viewpoint of proteins // *Food Research International*. 2024. Vol. 186. Article number 114351. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114351.
15. Zhang M., Wang O., Cai S., Zhao L., Zhao L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review // *Food Research International*. 2023. Vol. 171. Article number 113061. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113061.
16. Rebezov M., Usman Khan M., Bouyahya A., Imran M., Tufail T., Loretts O., Neverova O., Artyukhova S., Kuznetsova E., Ermolaev V., Balahbib A., Thiruvengadam M., Zengin G., Shariati M. Nutritional and technical aspect of tiger nut and its micro-constituents: an overview // *Food Reviews International*. 2021. Vol. 39 (6). Pp. 3262–3282. DOI: 10.1080/87559129.2021.2011910.
17. Ceclu L., Nistor O., Mocanu G. Pumpkin-health benefits // *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2020. Vol. 26. Pp. 241–246.
18. Nargotra P., Sharma V., Tsai M. L., Hsieh S. L., Dong C. D., Wang H. M. D., Kuo Ch. H. Recent advancements in the valorization of agro-industrial food waste for the production of nanocellulose // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13 (10). Article number 6159. DOI: 10.3390/app13106159.
19. Qi X., Zhang Y., Yu H., Xie J. Research on the Properties of Polysaccharides, Starch, Protein, Pectin, and Fibre in Food Processing // *Foods*. 2023. Vol. 12. Article number 249. DOI: 10.3390/foods12020249.
20. Фролов Д. И., Назарова Е. И. Пищевые и антипитательные вещества семян фасоли // *Инновационная техника и технология*. 2023. № 10 (4). С. 32–37.
21. Гурьева А. В., Рожкова М. Н. Обзор сырьевых источников, применимых для разработки продуктов на растительной основе: критерии выбора для сбалансированного состава // *Пищевая промышленность*. 2022. № 1. С. 59–62. DOI: 10.52653/PPI.2022.1.1.013.
22. Поморова Ю. Ю., Пятовский В. В., Бескоровайный Д. В., Болховитина Ю. С. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // *Масличные культуры*. 2019. № 4 (180). С. 161–169. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169.
23. Tan S. T., Shin T. S., Xuan T. C. Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: a review of their safety and health benefits // *Pharma-Nutrition*. 2023. Vol. 25. Article number 100352. DOI: 10.1016/j.phanu.2023.100352.
24. Huang Z., Qu Y., Hua X., Wang F., Jia X., Yin L. Recent advances in soybean protein processing technologies: a review of preparation, alterations in the conformational and functional properties // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. Vol. 248. Article number 125862. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125862.
25. Wang Y., Lyu B., Fu H., Li J., Ji L., Gong H., Zhang R., Liu J., Yu H. The development process of plant-based meat alternatives: Raw material formulations and processing strategies // *Food Research International*. 2023. Article number 112689. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112689.
26. Webb D., Li Y., Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 131 (1). Pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.11.006.
27. Серков В. А., Смирнов А. А., Александрова М. Р. История коноплеводства в России // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. № 3 (175). С. 132–141. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-132-141.
28. Aloo S. O., Mwiti G., Ngugi L. W., Oh D. H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 64 (11). DOI: 10.1080/10408398.2022.2149468.
29. Chen H., Xu B., Wang Y., Li W., He D., Zhang Y., Zhang X., Xing X. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications // *Food Science and Human Wellness*. 2023. Vol. 12 (4). Pp. 929–941. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.016.
30. Odani S., Odani S. Isolation and primary structure of a methionine-and cystine-rich seed protein of *Cannabis sativa* // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1998. Vol. 62 (4). Pp. 650–654. DOI: 10.1271/bbb.62.650.

31. Sun X., Sun Y., Li Y., Wu Q., Wang L. Identification and Characterization of the Seed Storage Proteins and Related Genes of *Cannabis sativa* L. // *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.678421.
32. Singh A., Kumar V. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future: A review // *Grain & Oil Science and Technology*. 2024. Vol. 7 (1). Pp. 12–29. DOI: 10.1016/j.gaost.2023.12.002.
33. Aziz A., Noreen S., Khalid W., Ejaz A., Faiz ul Rasool I., Maham, Munir A., Farwa, Javed M., Ercisli S., Okcu Z., Marc R. A., Nayik G. A., Ramniwas S., Uddin J. Pumpkin and pumpkin byproducts: phytochemical constituents, food application and health benefits // *ACS omega*. 2023. Vol. 8 (26). Pp. 23346–23357. DOI: 10.1021/acsomega.3c02176.
34. Wang H., Chen K., Cheng J., Jiang L., Yu D., Dai Y., Wang L. Ultrasound-assisted three phase partitioning for simultaneous extraction of oil, protein and polysaccharide from pumpkin seeds // *LWT*. 2021. Vol. 151. Article number 112200. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112200.
35. Qin N., Nie J., Hou Y., Shuang Q., Bao X. Ultrasound-assisted macroporous resin treatment improves the color and functional properties of sunflower meal protein // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024. Vol. 102 (8). Article number 106750. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106750.
36. Pickardt C., Weisz G. M., Eisner P., Kammerer D. R., Neidhart S., Carle R. Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production // *Procedia Food Science*. 2011. Vol. 1. Pp. 1417–1424. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.210.
37. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant-based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate // *Future Foods*. 2023. Vol. 8 (3). Article number 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
38. Tonolo F., Coletta S., Fiorese F., Grinzato A., Albanesi M., Folda A., Ferro S., De Mario A., Piazza I., Mamucari C., Arrigoni G., Marin O., Cestonaro G., Nataloni L., Costanzo E., Lodovichi C., Rigobello M. P., Bernard M. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From *in silico* simulation to the animal model // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 439 (1). Article number 138124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138124.
39. Tessier R., Calvez J., Airinei G., Khodorova N., Kapel R., Quinsac A., Galet O., Piedcoq J., Benamouzig R., Tomé D., Gaudichon C. The True Amino Acid Digestibility of 15N-Labelled Sunflower Biscuits Determined with Ileal Balance and Dual Isotope Methods in Healthy Humans // *The Journal of Nutrition*. 2022. Vol. 152 (3). Pp. 698–706. DOI: 10.1093/jn/nxab423.
40. Hao X. Y., Yu S. C., Mu C. T., Wu X. D., Zhang C. X., Zhao J. X., Zhang J. X. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep // *Animal*. 2020. Vol. 14 (9). Pp. 1841–1848. DOI: 10.1017/S1751731120000397.
41. Xie D. W., Li J., Zhang X. Yu., Dai Zh. G., Zhou W. Zh., Su J. G., Sun J. Systematic analysis of MYB transcription factors and the role of LuMYB216 in regulating anthocyanin biosynthesis in the flowers of flax (*Linum usitatissimum* L.) // *Journal of Integrative Agriculture*. 2023. Vol. 22 (8). Pp. 2335–2345. DOI: 10.1016/j.jia.2023.04.046.
42. Cui Zh., Yan B., Gao Yu., Wu B., Wang Yi., Wang H., Hu P., Zhao B., Cao Z., Zhang Y., Xie Y., Hu Y., Ma X., Niu J. Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review // *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7 (1). Pp. 53–62. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.02.006.
43. Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C. J., Wang B., Adhikari B. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 197 (A). Pp. 212–220. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.106.
44. Полосина Е. И., Фролов Д. И. Повышение пищевой ценности пшеничного хлеба путем внесения функциональных добавок // *Инновационная техника и технология*. 2023. № 10 (4). С. 27–31.
45. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 79 p.
46. Carcanari T., Covaliov E., Negoita C., Siminiuc R., Chirsanova A., Reșitca V., Țurcanu D. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread // *Foods*. 2023. Vol. 12. Article number 4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
47. Юшков С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот // *Бизнес пищевых ингредиентов*. 2018. № 1. С. 22–27.
48. Алехина Н. Н., Пономарева Е. И., Жаркова И. М., Желтикова А. С. Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем // *Пищевая промышленность*. 2020. № 5. С. 8–12 DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10046.
49. Atudorei D., Atudorei O., Codină G.G. The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality // *Plants*. 2022. Vol. 11. Article number 1225. DOI: 10.3390/plants11091225.

**Об авторах:**

**Оксана Владимировна Зинина**, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. *E-mail: zinoks-vl@mail.ru*

**Ольга Петровна Неверова**, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: opneverova@mail.ru*

**Ян Ли**, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай; ORCID 0000-0001-8758-5512. *E-mail: liyanghuangyu@163.com*

**Фэнкай Чжан**, магистр пищевой инженерии, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай; ORCID 0009-0002-8918-8267. *E-mail: zhangfengkai2022@163.com*

**Максим Борисович Ребезов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: m.rebezov@fncps.ru*

**References**

1. Fatkullin R. I., Kalinina I. V., Naumenko N. V., Popova N. V., Naumenko E. E., Ivanisova E., Vasilyev A. K. Study of the antioxidant properties of enriched bakery products. *Agrarian Science*. 2022; 9: 167–172. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-167-172. (In Russ.)
2. Zinina O. V., Pavlova Ya. S., Rebezov M. B., Chanov I. M., Nikolina A. D., Nurymkhan G. N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian Science*. 2022; 9: 173–179. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179. (In Russ.)
3. Mesta-Corral M., Gómez-García R., Balagurusamy N., Torres-León C., Hernández-Almanza A. Y. Technological and nutritional aspects of bread production: an overview of current status and future challenges. *Foods*. 2024; 13: 2062. DOI: 10.3390/foods13132062.
4. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian Science*. 2023; 6: 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125. (In Russ.)
5. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian Science*. 2023; 1 (8): 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142. (In Russ.)
6. Langyan S., Yadava P., Khan F. N., Dar Z. A., Singh R., Kumar A. Sustaining protein nutrition through plant-based foods. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 8: 772573. DOI: 10.3389/fnut.2021.772573.
7. Zaytseva N. V., Zelenkin S. E., Suvorov D. V., Shur P. Z., Lear D. N., Cao C. Kh., Nguyen K. H. Comparative characteristics of the amino acid composition of protein from traditional sources and entomoprotein: calculated data. *Problems of Nutrition*. 2023; 92 (5): 39–47. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5-39-47. (In Russ.)
8. Ferrari L., Panaite S. A., Bertazzo A., Visioli F. Animal- and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact. *Nutrients*. 2022; 14 (23): 5115. DOI: 10.3390/nu14235115.
9. Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12 (2): 998–1003. DOI: 110.31838/IJPR/2020.12.02.0152.
10. Polubesova M. A., Mechtaeva E. V., Meshcheryakov A. A., Zhuravleva A. Z., Sitnov V. Yu., Chernov A. D. Alternative sources of protein: main characteristics, environmental friendliness and safety. *Food Industry*. 2024; 1: 39–46. DOI: 10.52653/PPI.2024.1.1.007. (In Russ.)
11. Hadidi M., Aghababaei F., McClements D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*. 2023; 145 (5): 109132. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109132.
12. Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E. N., Maieves H. A., Berrios J. J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption: a review. *Foods*. 2021; 10 (5): 1096. DOI: 10.3390/foods10051096.
13. Zhang J., Chen Q., Kaplan D. L., Wang Q. High-moisture extruded protein fiber formation toward plant-based meat substitutes applications: Science, technology, and prospect. *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 128: 202–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.008.
14. Su T., Le B., Zhang W., Bak K. H., Soladoye P. O., Zhao Z., Zhao Y., Fu Y., Wu W. Technological challenges and future perspectives of plant-based meat analogues: From the viewpoint of proteins. *Food Research International*. 2024; 186: 114351. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114351.
15. Zhang M., Wang O., Cai S., Zhao L., Zhao L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review. *Food Research International*. 2023; 171: 113061. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113061.



16. Rebezov M., Usman Khan M., Bouyahya A., Imran M., Tufail T., Loretts O., Neverova O., Artyukhova S., Kuznetsova E., Ermolaev V., Balahbib A., Thiruvengadam M., Zengin G., Shariati M. Nutritional and technical aspect of tiger nut and its micro-constituents: an overview. *Food Reviews International*. 2021; 39 (6): 3262–3282. DOI: 10.1080/87559129.2021.2011910.
17. Ceclu L., Nistor O., Mocanu G. Pumpkin-health benefits. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2020; 26: 241–246.
18. Nargotra P., Sharma V., Tsai M. L., Hsieh S. L., Dong C. D., Wang H. M. D., Kuo Ch. H. Recent advancements in the valorization of agro-industrial food waste for the production of nanocellulose. *Applied Sciences*. 2023; 13 (10): 6159. DOI: 10.3390/app13106159.
19. Qi X., Zhang Y., Yu H., Xie J. Research on the properties of polysaccharides, starch, protein, pectin, and fibre in food processing. *Foods*. 2023; 12: 249. DOI: 10.3390/foods12020249.
20. Frolov D. I., Nazarova E. I. Nutrients and anti-nutrients of bean seeds. *Innovative Technology and Technology*. 2023; 10 (4): 32–37. (In Russ.)
21. Guryeva A. V., Rozhkova M. N. Review of raw material sources applicable to the development of plant-based products: selection criteria for balanced composition. *Food Processing Industry*. 2022; 1: 59–62. DOI: 10.52653/PPI.2022.1.1.013. (In Russ.)
22. Pomorova Yu. Yu., Pyatovskiy V. V., Beskorovaynyy D. V., Bolkhovitina Yu. S. Characterization and methods of isolation of the protein part of the seeds of the most important oil crops (review). *Oil Crops*. 2019; 4 (180): 161–169. DOI: 10.25230/2412–608X–2019–4–180–161–169. (In Russ.)
23. Tan S. T., Shin T. S., Xuan T. C. Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: a review of their safety and health benefits. *Pharma-Nutrition*. 2023; 25: 100352. DOI: 10.1016/j.phanu.2023.100352.
24. Huang Z., Qu Y., Hua X., Wang F., Jia X., Yin L. Recent advances in soybean protein processing technologies: A review of preparation, alterations in the conformational and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 248: 125862. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125862.
25. Wang Y., Lyu B., Fu H., Li J., Ji L., Gong H., Zhang R., Liu J., Yu H. The development process of plant-based meat alternatives: Raw material formulations and processing strategies. *Food Research International*. 2023; 112689. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112689.
26. Webb D., Li Y., Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat. *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 131 (1): 129–138. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.11.006.
27. Serkov V. A., Smirnov A. A., Alexandrova M. R. History of hemp growing in Russia. *Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds*. 2018; 3 (175): 132–141. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-132-141. (In Russ.)
28. Aloo S. O., Mwititi G., Ngugi L. W., Oh D. H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 64 (11). DOI: 10.1080/10408398.2022.2149468.
29. Chen H., Xu B., Wang Y., Li W., He D., Zhang Y., Zhang X., Xing X. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12 (4): 929–941. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.016.
30. Odani S., Odani S. Isolation and primary structure of a methionine-and cystine-rich seed protein of *Cannabis sativa*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1998; 62 (4): 650–654. DOI: 10.1271/bbb.62.650.
31. Sun X., Sun Y., Li Y., Wu Q., Wang L. Identification and Characterization of the Seed Storage Proteins and Related Genes of *Cannabis sativa* L. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.678421.
32. Singh A., Kumar V. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future: A review. *Grain & Oil Science and Technology*. 2024; 7 (1): 12–29. DOI: 10.1016/j.gaost.2023.12.002.
33. Aziz A., Noreen S., Khalid W., Ejaz A., Faiz ul Rasool I., Maham, Munir A., Farwa, Javed M., Ercisli S., Okcu Z., Marc R. A., Nayik G. A., Ramniwas S., Uddin J. Pumpkin and pumpkin byproducts: phytochemical constituents, food application and health benefits. *ACS Omega*. 2023; 8 (26): 23346–23357. DOI: 10.1021/acsomega.3c02176.
34. Wang H., Chen K., Cheng J., Jiang L., Yu D., Dai Y., Wang L. Ultrasound-assisted three phase partitioning for simultaneous extraction of oil, protein and polysaccharide from pumpkin seeds. *LWT*. 2021; 151: 112200. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112200.
35. Qin N., Nie J., Hou Y., Shuang Q., Bao X. Ultrasound-assisted macroporous resin treatment improves the color and functional properties of sunflower meal protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 102 (8): 106750. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106750.

36. Pickardt C., Weisz G. M., Eisner P., Kammerer D. R., Neidhart S., Carle R. Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production. *Procedia Food Science*. 2011; 1: 1417–1424. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.210.
37. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant-based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate. *Future Foods*. 2023; 8 (3): 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
38. Tonolo F., Coletta S., Fiorese F., Grinzato A., Albanesi M., Folda A., Ferro S., De Mario A., Piazza I., Mamucari C., Arrigoni G., Marin O., Cestonaro G., Nataloni L., Costanzo E., Lodovichi C., Rigobello M. P., Bernard M. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From *in silico* simulation to the animal model. *Food Chemistry*. 2024; 439 (1): 138124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138124.
39. Tessier R., Calvez J., Airinei G., Khodorova N., Kapel R., Quinsac A., Galet O., Piedcoq J., Benamouzig R., Tomé D., Gaudichon C. The True Amino Acid Digestibility of 15N-Labelled Sunflower Biscuits Determined with Ileal Balance and Dual Isotope Methods in Healthy Humans. *The Journal of Nutrition*. 2022; 152 (3): 698–706. DOI: 10.1093/jn/nxab423.
40. Hao X. Y., Yu S. C., Mu C. T., Wu X. D., Zhang C. X., Zhao J. X., Zhang J. X. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep. *Animal*. 2020; 14 (9): 1841–1848. DOI: 10.1017/S1751731120000397.
41. Xie D. W., Li J., Zhang X. Yu., Dai Zh. G., Zhou W. Zh., Su J. G., Sun J. Systematic analysis of MYB transcription factors and the role of LuMYB216 in regulating anthocyanin biosynthesis in the flowers of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 2023; 22 (8): 2335–2345. DOI: 10.1016/j.jia.2023.04.046.
42. Cui Zh., Yan B., Gao Yu., Wu B., Wang Yi., Wang H., Hu P., Zhao B., Cao Z., Zhang Y., Xie Y., Hu Y., Ma X., Niu J. Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review. *Oil Crop Science*. 2022; 7 (1): 53–62. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.02.006.
43. Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C. J., Wang B., Adhikari B. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry*. 2016; 197 (A): 212–220. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.106.
44. Polosina E. I., Frolov D. I. Increasing the nutritional value of wheat bread by adding functional additives. *Innovative Engineering and Technology*. 2023; 10 (4): 27–31. (In Russ.)
45. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 79 p.
46. Capcanari T., Covaliov E., Negoita C., Siminiuc R., Chirsanova A., Reșitca V., Țurcanu D. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread. *Foods*. 2023; 12: 4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
47. Yushkov S. Development of a complex composition of plant proteins with a complete set of amino acids. *Biznes Pishchevyh Ingredientov*. 2018; 1: 22–27. (In Russ.)
48. Alekhina N. N., Ponomareva E. I., Zharkova I. M., Zheltikova A. S. Study of functional properties of grain bread based on protein enricher baking mix. *Food Processing Industry*. 2020; 5: 8–12. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10046. (In Russ.)
49. Atudorei D., Atudorei O., Codină G.G. The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality. *Plants*. 2022; 11: 1225. DOI: 10.3390/plants11091225.

#### Authors' information:

**Oksana V. Zinina**, doctor of technical sciences, professor at the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624.

E-mail: zinoks-vl@mail.ru

**Olga P. Neverova**, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632.

E-mail: opneverova@mail.ru

**Yang Li**, doctor of technical sciences, professor, Northeast Agricultural University, Harbin, China; ORCID 0000-0001-8758-5512. E-mail: liyanghuangyu@163.com

**Fengkai Zhang**, master student in food engineering, Northeast Agricultural University, Harbin, China; ORCID 0009-0002-8918-8267. E-mail: zhangfengkai2022@163.com

**Maksim B. Rebezov**, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764.

E-mail: m.rebezov@fneps.ru

## Влияние микробной конверсии отходов птицеводства на содержание соединений азота и показатели интегральной токсичности компостируемого материала

Г. В. Ильина<sup>✉</sup>, Д. Ю. Ильин, А. А. Гришина, А. Р. Дашкина

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [ilyina.g.v@pgau.ru](mailto:ilyina.g.v@pgau.ru)

**Аннотация.** Цель настоящего исследования – оценка влияния приемов биоконверсии отходов птицеводства микробным комплексом, объединенным с минеральным носителем, на содержание азота в компостируемом материале и на показатели интегральной токсичности. **Методы.** Использовались методы компостирования органического субстрата – побочного продукта птицеводства культурами бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов, обладающих ферментативным потенциалом, обеспечивающим конверсию пометно-подстилочных материалов в компост. Инокуляция микроорганизмов-деструкторов в субстрат осуществлялась на минеральном носителе глауконите. Показатели интегральной токсичности материалов на разных стадиях деструкции изучены при помощи методик биотестирования, включенных в федеральный реестр. **Результаты.** Изучена роль коррекции реакции среды на разных этапах процесса компостирования, при этом установлено, что данные приемы способствуют наиболее полной реализации физиологического потенциала групп микроорганизмов и повышению биодоступности биогенных элементов за счет перехода в подвижные соединения. Сохранность общего азота возрастает в 1,5 и 2,2 раза по сравнению с естественной деструкцией при хранении в течение полугода и года соответственно, а пропорции различных форм изменяются в пользу аммонийных и нитратных. Содержание суммы аммонийной и нитратной форм азота в компосте превышает таковое в исходном пометно-подстилочном материале в 2,8 раза, а в отходах после полугода и года хранения – соответственно в 1,6 и 2,5 раза. Установлено снижение интегральной токсичности полученного компоста по сравнению с отходами, хранящимися на полигонах, а также снижение класса опасности материалов с IV до V. **Научная новизна.** Впервые комплексно изучено влияние микробного комплекса, интегрированного с минеральным носителем, на превращения соединений азота и показатели интегральной токсичности материалов. Описанные приемы позволят снизить экологическую нагрузку на объекты окружающей среды. Полученный компост может быть использован в качестве доступного удобрения в секторе растениеводства и кормопроизводства при замкнутом цикле производства.

**Ключевые слова:** азот, конверсия отходов птицеводства, экологическая безопасность, интегральная токсичность, агроэкология

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10059, <http://rscf.ru/project/23-26-10059/>

**Для цитирования:** Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Влияние микробной конверсии отходов птицеводства на содержание соединений азота и показатели интегральной токсичности компостируемого материала // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 449–458. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-449-458>.

**Дата поступления статьи:** 15.10.2024, **дата рецензирования:** 20.12.2024, **дата принятия:** 17.02.2025.

## Effect of microbial conversion of poultry waste on the content of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of composted material

G. V. Ilyina<sup>✉</sup>, D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

**Abstract.** The purpose of this study was to evaluate the influence of bioconversion of poultry waste by microbial complexes combined with mineral carrier on the nitrogen content of composted material, as well as indicators of integral toxicity. **Methods** of composting of organic substrate – by-product of poultry farming by cultures of bacteria, mycelial fungi and actinomycetes with enzymatic potential providing conversion of litter into compost were used. Inoculation of microorganisms-destroyers into the substrate was carried out on a mineral carrier – glauconite. Indicators of integral toxicity of materials at different stages of degradation were studied using biotesting methods included in the federal register. **Results.** The role of correcting the reaction of the medium at different stages of the composting process was studied, and it was found that these methods contribute to the fullest realization of the physiological potential of microorganism groups and increase the bioavailability of nutrients by their transfer into mobile compounds. Preservation of total nitrogen increases 1.5 and 2.2 times compared to natural destruction during storage for six months and a year, respectively, and the proportions of different forms change in favor of ammonium and nitrate. The content of the sum of ammonium and nitrate forms of nitrogen in the compost exceeds that in the initial litter and bedding material by 2.8 times, and in the waste after six months and a year of storage by 1.6 and 2.5 times, respectively. The reduction of integral toxicity of the obtained compost in comparison with wastes stored in landfills, as well as the reduction of hazard class of materials from IV to V was established. **Scientific novelty.** For the first time the influence of microbial complex integrated with mineral carrier on the transformation of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of materials has been studied comprehensively. The described methods will allow to reduce the ecological load on environmental objects. The obtained compost can be used as an affordable fertilizer in the crop and fodder production sector under a closed cycle of production.

**Keywords:** nitrogen, poultry waste conversion, environmental safety, integral toxicity, agroecology

**Acknowledgements.** The research was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-10059, <http://rscf.ru/project/23-26-10059/>

**For citation:** Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Effect of microbial conversion of poultry waste on the content of nitrogen compounds and indices of integral toxicity of composted material. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 449–458. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-449-458>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 15.10.2024, **date of review:** 20.12.2024, **date of acceptance:** 17.02.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Одним из основных источников опасных для объектов окружающей среды отходов было и остается сельскохозяйственное производство, масштабы деятельности и технологический потенциал которого ежегодно увеличиваются [1–4]. При этом до 90 % объемов выбросов аммиака могут составлять испарения от навоза и помета сельскохозяйственных животных. Признана потенциальная опасность птичьего помета для тех территорий, где накапливается этот доминирующий в отрасли птицеводства отход, и необходимость его утилизации [5]. Размещение отходов производства непременно связано с финансовыми потерями предприятий [6]. В связи с этим инвестиции в переработку отходов позволят

увеличить прибыль предприятия за счет исключения выплаты штрафов за нарушение требований по охране окружающей среды. В настоящее время активно проводятся исследования, связанные с поиском путей экологизации сельскохозяйственного производства. В частности, рассматриваются возможности получения удобрений из отходов животноводства. Птичий помет традиционно рассматривается как потенциальное удобрение. Попытки использовать помет и навоз животных в качестве удобрения для сельскохозяйственных растений в неизменном виде продемонстрировали негативные результаты [7]. Микрофлора почвы нередко страдает от избытка неферментированных пометных



масс, а снижение активности почвенной микробиоты крайне нежелательно и лимитирует почвообразовательные процессы. В связи с этим в практике использования подобного рода материалов, как правило, прибегают к различным приемам частичной ферментации или предварительного компостирования [8]. Разработка новых экологически обоснованных путей утилизации свежих подстилочных масс и других пометных отходов позволит найти альтернативные варианты использования подобных материалов [9–11]. Проблема образования парниковых газов на сегодняшний день является дискуссионной, однако не теряет своей актуальности. Сдерживание эмиссии аммиака, диоксида углерода за счет сорбции и хемосорбции в ходе микробных процессов деструкции материалов, содержащих конечные продукты азотистого обмена животных, может стать частичным решением этой проблемы [12]. Пассивация ферментативной активности микроорганизмов-деструкторов может определяться высокими концентрациями ионов аммония, аммиака и сероводорода [13]. Применение сорбирующих материалов природного происхождения успешно практикуется для снижения токсического эффекта указанных соединений, причем такие материалы, как фосфогипс, бентонитовая глина и другие, служат, помимо прочего, и источником ценных минеральных элементов [14–16].

Реакция среды и температура материалов, находящихся в процессе компостирования, – динамические показатели, на уровень которых влияют как экзогенные (климатические условия, антропогенное влияние), так и эндогенные (обусловленные деятельностью самих микроорганизмов) факторы. Нередко это приводит к смещению химических параметров среды (в частности, накоплению аммиака) и повышению токсичности материалов для почвенной микробиоты. Использование процедуры биотестирования в целях оценки уровня интегральной токсичности объектов окружающей среды, а также вытяжек из разного рода отходов используется в системе государственного экологического контроля. Степень токсичности определяется согласно существующим методикам на основании реакций тест-объектов, причем не менее двух, а тест-параметрами могут служить различные физиологические реакции [17; 18]. Подобные приемы используются в сфере как фундаментальных, так и прикладных исследований состояния объектов окружающей среды, а также в сфере государственного экологического контроля [19; 20].

Цель настоящего исследования – оценка влияния приемов биоконверсии отходов птицеводства микробным комплексом, объединенным с минеральным носителем, на содержание азота в компостируемом материале, а также показатели интегральной токсичности.

### Методология и методы исследования (Methods)

Эксперименты, положенные в основу настоящей работы, осуществлялись на базе лаборатории биотехнологии и ускоренной селекции Пензенского государственного аграрного университета. Для исследования были отобраны образцы пометно-подстилочных масс индейки, находящейся на откорме и выращивании в условиях производственных площадок крупного птицеводческого предприятия ООО «ПензаМолИнвест». В качестве образцов для изучения были взяты пробы следующих материалов: свежие пометно-подстилочные массы, удаленные непосредственно с производственной площадки; частично деструктурированные пометно-подстилочные массы, размещенные на полигоне хранения и депонированные там в течение полугодия в естественных условиях; отходы, хранящиеся на полигоне в течение года с момента размещения. Образцы отличались друг от друга органолептически, имели различную плотность. В качестве альтернативного образца был изучен материал компоста, полученного в лабораторных условиях путем последовательной микробной ферментации. Для осуществления микробного компостирования использовали ранее изученный и поддерживаемый комплекс культур бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов-почвообразователей. Согласно разработанной ранее технологии компостирования, в качестве культуры – триггера нитрификационных процессов использовали представителей рода *Nitrosomonas*. Для внесения указанной культуры в компостируемый субстрат осуществляли ее культивирование в глубинных условиях до достижения необходимого титра клеток. В качестве материального носителя для микробной культуры применяли природных материал глауконит. Последний предварительно измельчали до порошка, который пропитывали культуральной жидкостью с клетками микроорганизма в количестве 0,5 млн на 1 г минерала. Впоследствии, после состоявшейся стадии нитрификации субстрата, внедряли культуры грибов родов *Thelavia* и *Myceliophthora*. После деструкции труднорастворяющихся целлюлозных и лигниновых компонентов для активизации гумусообразования применяли культуры актиномицетов родов *Nocardia* и *Cellulomonas*. Реакцию среды доводили до значений pH на уровне 6,2–6,5 путем добавления 10-процентного раствора серной кислоты. Содержание общего азота определяли по методу Кьельдаля, содержание аммонийного и нитратного азота определяли при помощи прибора «Капель-104 м» методом капиллярного электрофореза.

Оценка интегральной токсичности проводилась с использованием методик биотестирования в условиях лаборатории технологического контроля очистных сооружений канализации ООО «Горводоканал» (г. Пенза), аккредитованной в системе Фе-

деральной службы по аккредитации (Росаккредитации) и имеющей уникальный номер RA.RU 518137. Тест-объектами биотестирования служили рачки *Daphnia magna* Straus и водоросли *Scenedesmus quadricauda*, а тест-параметрами, соответственно, смертность и изменение плодовитости рачков и изменение уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей.

Различия в ходе экспериментов рассматривали как достоверные при уровне значимости  $p \leq 0,05$ . Для статистической оценки использовали традиционные инструменты и программный пакет Statistica.

### Результаты (Results)

Отработанные пометно-подстилочные материалы, удаляемые с производственных площадок, представляют собой неоднородную массу, содержащую помет птицы, опилочные и солоmistые материалы, примесь пера и комбикорма. Материал имеет разную степень плотности и влажности, а также характерный специфический запах с преобладанием запаха аммиака (рис. 1).

Вторая партия отходов была получена после шести месяцев (с января по июль) хранения на полигоне в условиях естественной деструкции. Третья партия отходов отобрана после хранения на полигоне в течение года (с июля по июль). После отбора средних проб был проведен анализ полученных образцов отходов на содержание общего, аммонийного и нитратного азота (рис. 2, таблица 1).

Установлено, что содержание общего азота в материалах отходов, полученных непосредственно с производственных площадок, довольно значительно и составляет 3,6 % от сухой массы.

Известно, что интенсивный прирост биомассы птицы, обеспечивающий целый ряд экономических преимуществ отрасли птицеводства, обеспечивается за счет быстрой и эффективной конверсии корма. В рационе птицы на откорме важное место занимают белковые компоненты и премиксы, необходимые для обеспечения продуктивности. Физио-



Рис. 1. Общий вид образца отработанной птичьей подстилки, подготовленного для анализа  
Fig. 1. Overall view of a sample of waste poultry litter prepared for analysis

логические процессы, сопровождающие азотистый обмен в организме птиц, идут весьма интенсивно, в соответствии со спецификой работы выделительной системы в экскретах птицы присутствует соединения аммония, которые образуются путем химических превращений мочевой кислоты в кишечнике. Однако в условиях интенсивного откорма и возросшей нагрузки на выделительную систему именно у продуктивной птицы в экскретах около 50 % азота содержится в форме мочевой кислоты [21]. Содержание в таком материале 1,27 % от массы аммонийного азота объясняется процессами разложения мочевой кислоты помета, нитратный же азот присутствует в следовых количествах (на уровне 0,01 %). Хранение на полигоне в течение полугода приводит к сокращению содержания общего азота (на 22,2 %). Содержание аммонийных форм возрастает на 36,2 % относительно исходного, что может объясняться формированием динамического равновесия между непрерывно протекающими процессами аммонификации и нитрификации. Суммарные потери происходят за счет эмиссии в атмосферу аммиака и летучих аминов. Доля нитратного азота возрастает на 55,0 %. По истечении года хранения пометно-подстилочных масс содержание общего азота в материалах снижается до 1,85 %, доля аммонийного азота сокращается за счет улетучивания и окисления (нитрификации) до 1,1 %, а доля нитратного снижается до 0,41 % от сухой массы субстрата. Такие значения могут объясняться завершением процессов аммонификации, состоявшейся нитрификацией материалов отходов, частичной денитрификацией и вымыванием нитратных форм.

Отходы, полученные непосредственно с производственных площадок, после перемешивания до однородной массы и доведения влажности до 60 % в условиях лаборатории подвергались микробному компостированию. С этой целью при помешивании и перебивках в субстрат поочередно добавляли функциональные комплексы микроорганизмов. Для стимуляции процессов нитрификации и опосредованно аммонификации в компостируемом материале в первую очередь использовали культуру хемоавтотрофной бактерии рода *Nitrosomonas*. Хемоавтотрофная бактерия способствовала протеканию нитрификационных и аммонификационных процессов, которые в естественных условиях непременно сопровождаются эмиссией летучих форм азота. В нашем случае сорбционные свойства материала глауконита, на котором была иммобилизована инокулируемая культура в субстрат, препятствовали эмиссионным потерям. Органолептически это было заметно по снижению выраженности характерного аммиачного запаха от субстрата. Помимо экскрементов птицы, подстилочные материалы содержат в своем составе солому, опилки, щепу, которые медленно подвергаются деструкции. Использование

культур грибов *Thelavia* и *Myceliophthora*, обладающих лигно- и целлюлозолитическим потенциалом, способствовало ускорению деградации таких компонентов. Разогрев компоста (термофаза) сопровождается процессом деструкции на данном этапе, поэтому использование именно термофильных культур грибов является оправданным. На фоне деструкции углеродсодержащих материалов происходит активное улетучивание диоксида углерода. Сорбционные свойства глауконита могут препятствовать эмиссии газа, что будет способствовать удержанию углерода в почве. О состоявшейся деструкции целлюлозных и лигниновых компонентов говорят разрыхление субстрата, потемнение и легкий разрыв соломистых частиц, хрупкость и сыпучесть щепы. Для активизации процессов гумусообразования использованы культуры актиномицетов родов *Nocardia* и *Cellulomonas*. Щелочная среда субстрата, которая формируется за счет присутствия связанного аммиака, лимитирует жизнедеятельность указанных микроорганизмов. Некоторая коррекция реакции среды в сторону закисления (до pH порядка 6,5) способствует реализации их физиологического потенциала, а также связыванию остаточных количеств аммиака. При этом, как показывает опыт, реакция среды по итогам процесса компостирования возвращается к нейтральным значениям. При визуальном сопоставлении образцов компоста, полученного в ходе биоконверсии пометно-подстилочных масс по разработанной технологии, с исходными образцами отходов с производственной площадки заметна разница в плотности, консистенции, цвет изменился от серого до буро-коричневого, резкий аммиачный за-

пах сменился характерным почвенным (за счет деятельности актиномицетов).

Анализ компоста, полученного путем ускоренной ферментации указанным комплексом микроорганизмов, позволил установить положительное влияние процесса микробного компостирования на содержание общего азота (за счет существенной убыли углеродсодержащих компонентов субстрата), а также его аммонийной и нитратной форм в полученном материале (рис. 3, таблица 2).

Отмечено увеличение доли общего азота на 13,9 % по сравнению с его содержанием в исходном материале (свежего пометно-подстилочного материала, полученного непосредственно с производственной площадки). Это связано с потерями относительной массы субстрата и разными темпами убыли азота и углерода при микробном компостировании. Удержание аммонийных форм азота происходит за счет связывания аммиака в процессах адсорбции и хемосорбции, благодаря сорбционным свойствам минерала глауконита и дополнительного закисления среды в целях создания оптимальных условий для жизнедеятельности функциональных микроорганизмов. В пользу данного заключения свидетельствует отсутствие запаха аммиака на фоне типичного запаха почвы, характерного для материала готового микробного компоста, при этом содержание аммонийных форм азота в последнем превышает таковое в исходном материале в 2,2 раза. Сумма аммиачного и нитратного азота как основных форм подвижных соединений в полученном компосте возросла в 2,8 раза, причем доля нитратного азота возросла в 9,2 раза.

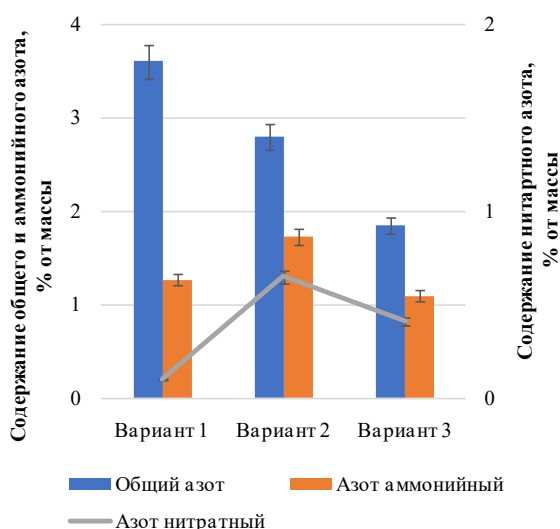


Рис. 2. Содержание различных форм азота в сухой массе отходов, % от сухой массы: вариант 1 – пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки; вариант 2 – отходы после 6 месяцев хранения на полигоне; вариант 3 – отходы после 12 месяцев хранения на полигоне ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ )

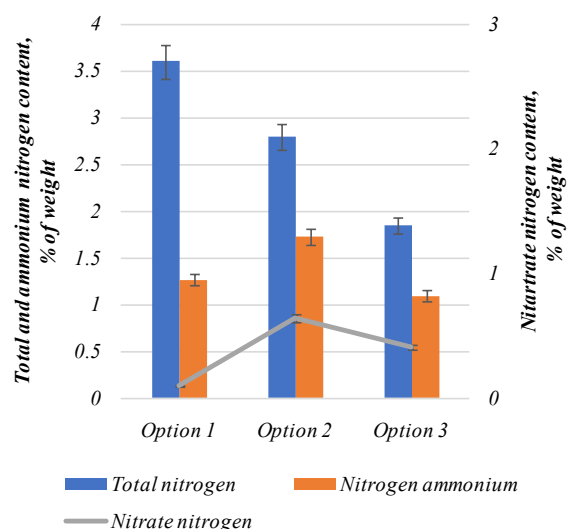


Fig. 2. Content of different forms of nitrogen in dry mass of waste, % of dry weight: option 1 – litter removed from the production site; option 2 – waste after 6 months of storage at the landfill; option 3 – waste after 12 months of storage at the landfill ( $p < 0.05$ ,  $n = 3$ )

Содержание суммы аммиачной и нитратной форм азота в микробном компосте, полученном в ходе реализации описанной технологии, в 1,6 раза превышает ее содержание в отходах, депонируемых в течение полугода, и в 3,1 раза – в течение года в естественных условиях, где происходят интенсивные потери за счет эмиссии летучих соединений и вымывания и денитрификации минеральных.

Использование микробных культур именно в комплексе с глауконитом не только обеспечило стимуляцию нитрификационных процессов, но и сократило долю летучих форм азота за счет хемосорбции и сорбции частицами минерала. Сохранение азота в материале, потенциально пригодном для использования в качестве удобрения, является важным аргументом в пользу разработанной технологии как в экологическом, так и в экономическом аспектах.

Таблица 1  
Содержание различных химических форм азота в отходах птицеводства, % от массы сухого вещества

Показатели	Вид материала		
	Пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки	Отходы после 6 месяцев хранения на полигоне	Отходы после 12 месяцев хранения на полигоне
Исходная влажность материала, %	48,3 ± 1,3	40,7 ± 1,7	38,9 ± 0,9
pH материала	8,2 ± 0,1	7,5 ± 0,1	6,9 ± 0,1
Общий азот	3,6 ± 0,7	2,8 ± 0,3	1,85 ± 0,01
Аммонийный азот	1,27 ± 0,1	1,73 ± 0,3	1,1 ± 0,01
Нитратный азот	0,1 ± 0,01	0,65 ± 0,01	0,41 ± 0,01

Table 1  
Content of different chemical forms of nitrogen in poultry waste, % of dry matter weight

Indicators	Type of material		
	Litter removed from the production site	Waste after 6 months of landfill storage	Waste after 12 months of landfill storage
Initial sample moisture content, %	48.3 ± 1.3	40.7 ± 1.7	38.9 ± 0.9
pH of material	8.2 ± 0.1	7.5 ± 0.1	6.9 ± 0.1
Total nitrogen	3.6 ± 0.7	2.8 ± 0.3	1.85 ± 0.1
Ammonium nitrogen	1.27 ± 0.1	1.73 ± 0.3	1.1 ± 0.01
Nitrate nitrogen	0.1 ± 0.01	0.65 ± 0.01	0.41 ± 0.01

Таблица 2  
Содержание форм азота в пометно-подстилочных массах индейки и компосте, полученном при их биоконверсии, % от массы сухого вещества

Показатели	Пометно-подстилочные массы, удаленные с производственной площадки	Компост, полученный путем микробной ферментации отходов
Исходная влажность материала, %	48,3 ± 1,3	51,2 ± 1,7
pH материала	8,2 ± 0,1	6,8 ± 0,1
Общий азот	3,6 ± 0,7	4,1 ± 0,3
Аммонийный азот	1,27 ± 0,1	2,9 ± 0,03
Нитратный азот	0,1 ± 0,01	0,92 ± 0,01

Table 2  
Nitrogen forms content in turkey litter and compost obtained during its bioconversion, % of dry matter weight

	Litter removed from the production site	Compost obtained by microbial fermentation of wastes
Initial sample moisture content, %	48.3 ± 1.3	51.2 ± 1.7
pH of material	8.2 ± 0.1	6.8 ± 0.1
Total nitrogen	3.6 ± 0.7	4.1 ± 0.3
Ammonium nitrogen	1.27 ± 0.1	2.9 ± 0.03
Nitrate nitrogen	0.1 ± 0.01	0.92 ± 0.01



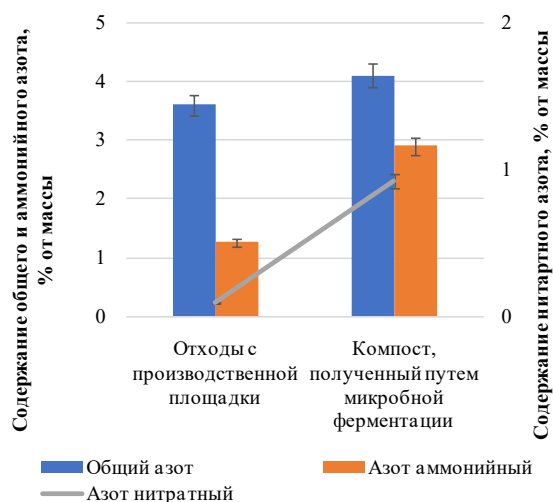


Рис. 3. Содержание общего, аммонийного и нитратного азота в изученных образцах, % от сухой массы ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ )

На следующем этапе исследований изучено влияние микробного компостирования на показатели интегральной токсичности материалов. Согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 декабря 2014 г. № 536, класс опасности отхода устанавливается на основании кратности разведения водной вытяжки из отхода [19; 20]. Результаты оценки интегральной токсичности (биотестирования) образцов отходов, полученных как с производственной площадки, так и с полигонов хранения, а также материалов микробного компоста отражены в протоколах испытаний № 243–252 от 12.09.2024 лаборатории, аккредитованной в системе Росаккредитации (уникальный номер RA.RU 518137).

Испытания позволили установить отсутствие острого токсического действия вытяжек из проб отходов с производственной площадки и полигонов хранения на тест-объекты *Daphnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda* только при разбавлении в 100 раз. Это свидетельствует об отнесении данных партий отходов к IV классу опасности (малоопасные отходы). Некоторая степень токсичности может объясняться присутствием мочевой кислоты и промежуточных продуктов аммонификации, в частности аминов, а также индола в субстрате. Оценка интегральной токсичности проб компоста, полученного по описанной технологии компостирования, показала отсутствие острого токсического действия на указанные выше тест-объекты вытяжек

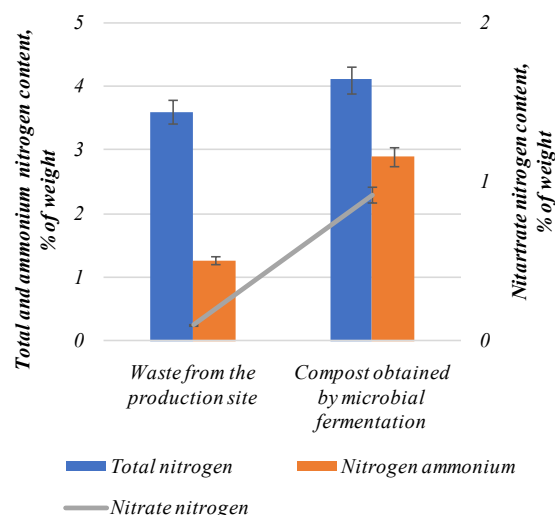


Fig. 3. Content of total, ammonium and nitrate nitrogen in the studied samples, % of dry weight ( $p < 0,05$ ,  $n = 3$ )

без разведения. Таким образом, ферментированный материал, согласно классификации, может быть отнесен к V классу опасности (практически неопасные отходы). Полученные результаты согласуются с установленными закономерностями динамики соединений азота в процессах реализации микробной технологии компостирования и свидетельствуют в ее пользу как экологически обоснованной и потенциально экономически привлекательной.

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

Оценка содержания подвижных форм азота в материале, полученном путем ферментации отходов птицеводства функциональным микробным комплексом на минеральном носителе, свидетельствует о целесообразности описанной технологии биоконверсии в плане обеспечения биодоступности элемента для растений при использовании полученного материала в качестве удобрений для сельскохозяйственных культур. Сокращение выбросов в атмосферу летучих соединений азота и диоксида углерода за счет сорбционных и хемосорбционных процессов, с одной стороны, обеспечивает сохранность ценного биогенного элемента в составе компоста, а с другой стороны, служит приемом экологизации отрасли. Понижение класса опасности материалов, иллюстрируемое достоверно установленным снижением интегральной токсичности, свидетельствует о перспективах получения экологически безопасного органоминерального удобрения путем реализации предлагаемой технологии.

#### Библиографический список

1. Ямалиев Т. Ш., Бочарова А. А. Экологические проблемы птицеводства // Мир Инноваций. 2021. № 4. С. 40–43.
2. Uktam T., Shafoat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. Vol. 24, No. 6. Pp. 7263–7274.

3. Iljina G. V., Iljin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils // *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022. Vol. 65, No. 2. Pp. 91–96.
4. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года (Извлечение) // *Вестник ветеринарии*. 2023. № 1 (104). С. 12–18.
5. Плотникова Т. В., Сидорова Н. В., Егорова Е. В. Результаты применения отходов производства: табачной пыли и птичьего помета в качестве удобрительного средства // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2020. № 3. С. 21–27.
6. Тю Л. В. К вопросу об эффективности инвестирования сельского хозяйства // *АПК: экономика, управление*. 2023. № 11. С. 69–77.
7. Ганиев А. С., Сибатуллин Ф. С., Зиганшин Б. Г., Халиуллина З. М., Гайфуллин И. Х. Использование удобрений из куриного помета для выращивания органической продукции // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 2022. Т. 17, № 1 (65). С. 9–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-9-14.
8. Таскаев М. В., Гарифьянова Л. А., Свалова М. В., Гринько Е. А. Применение полученных биоматериалов в ходе утилизации осадка с очистных сооружений в строительстве // *Выставка инноваций – 2020 (осенняя сессия): сборник материалов XXX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов*. Ижевск, 2021. С. 201–206.
9. Sigmundjak I., Brienza C., Snauwaert E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology // *Waste Management*. 2019. Vol. 89. Pp. 265–274.
10. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 346. Article number 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.
11. Pereira A. S., De Paula A., Castro J. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 779. Article number 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205
12. Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Функциональный комплекс микроорганизмов на минеральном носителе для каскадной ферментативной деструкции отходов птицеводства // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 05. С. 670–681.
13. Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Возможности регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах путем использования органоминерального удобрения на основе ферментированных отходов птицеводства // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 16, № 4. С. 73–84. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_4\_73.
14. Климов К. К., Лизунова Е. Ф., Любомудров Б. Э. Очистка биогаза с помощью *Chlorella vulgaris* // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения – 2020: сборник научных трудов*. Екатеринбург, 2021. С. 360–363.
15. Sun A., Cao W., Banks C.J., Heaven S., Liu R. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: a study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion // *Bioresource Technology*. 2016. No. 218. Pp. 1215–1223.
16. Druzyanova V. P., Petrova S. A., Khiterkheeva N. S. The use of zeolites for biogas purification in agricultural production // *E3S Web of Conferences*, 2020. Vol. 175. Article number 105077. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512012.
17. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests // *Toxicology Research*. 2023. Vol. 12, No. 39. Pp. 649–667. DOI: 10.1007/s43188-023-00192-2.
18. Marcelo G. A., Galhano J., Duarte M. P. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli* // *Nanomaterials (Basel)*. 2022. Vol. 23, No. 12. Article number 2164. DOI: 10.3390/nano12132164.
19. Мониторинг документов. Документы и комментарии // *Экология производства*. 2021. № 2. С. 4–17.
20. Панфиленко Е. В. Изменения законодательства в области охраны окружающей среды // *Форум СНИ-ПИ: сборник тезисов докладов научно-технического форума ООО «СамараНИПИнефть»*. Самара, 2021. С. 142.
21. Ruiz-Barrera O., Ontiveros-Magadan M., Anderson R. C., Byrd J. A., Hume M. E., Latham E. A., Nisbet D. J., Arzola-Alvarez C., Salinas-Chavira J., Castillo-Castillo Y. Nitro-treatment of composted poultry litter; effects on *Salmonella*, *E. coli* and nitrogen metabolism // *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 310. Article number 123459. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123459.

**Об авторах:**

**Галина Викторовна Ильина**, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

**Дмитрий Юрьевич Ильин**, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

**Анна Андреевна Гришина**, преподаватель кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

**Альбина Рафаэлевна Дашкина**, аспирант кафедры почвоведения, агрохимии и химии, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*

**References**

1. Yamaliev T. S., Bocharova A. A. Environmental problems of poultry farming. *World of Innovation*, 2021; 4: 40–43. (In Russ.)
2. Uktam T., Shafoat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24 (6): 7263–7274.
3. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 2022; 65 (2): 91–96. (In Russ.)
4. Strategy for the development of the industry for the treatment, utilization and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030 (Extract). *Veterinary Bulletin*, 2023; 1 (104): 12–18. (In Russ.)
5. Plotnikova T. V., Sidorova N. V., Egorova E. V. Results of utilizing industrial wastes: tobacco dust and poultry manure as fertilizer. *Agrochemistry and Ecology Problems*, 2020; 3: 21–27. (In Russ.)
6. Tiu L. V. On the issue of efficiency of agricultural investment. *AIC: Economics, Management*, 2023; 11: 69–77. (In Russ.)
7. Ganiev A. S., Sibagatullin F. S., Ziganshin B. G., Khaliullina Z. M., Gayfullin I. Kh. Use of chicken manure fertilizer for growing organic products. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 2022; 1 (65): 9–14. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-9-14. (In Russ.)
8. Taskaev M. V., Garifyanova L. A., Svalova M. A. V., Grinko E. A. Application of obtained biomaterials in the course of sludge disposal from sewage treatment plants in construction. *Innovation Exhibition – 2020: proceedings of the XXX Republican exhibition-session of student innovation projects*, Izhevsk, 2021. Pp. 201–206. (In Russ.)
9. Sigurnjak I., Brienza C., Snauwaert E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology. *Waste Management*. 2019; 89: 265–274.
10. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production. *Bioresource Technology*, 2022; 346: 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.
11. Pereira A. S., De Paula A., Castro J. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth. *Science of The Total Environment*. 2021; 779: 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205.
12. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Functional complex of microorganisms on mineral carrier for cascade enzymatic destruction of poultry waste. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 670–681. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-05-670-681. (In Russ.)
13. Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Possibilities of regulation of biogenic element fluxes in agroecosystems by using organomineral fertilizer based on fermented poultry waste. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (4): 73–84. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_4\_73. (In Russ.)
14. Klimov K. K., Lizunova E. F., Lubomudrov B. E., Bezmaternykh M. A., Volkova M. V. Biogas purification with chlorella vulgaris. *Energy and resource saving. power supply. Non-traditional and renewable energy sources. nuclear energy. Danilov readings – 2020*. Ekaterinburg, 2021. Pp. 360–363. (In Russ.)
15. Sun A., Cao W., Banks C.J., Heaven S., Liu R. Biogas production from undiluted chicken manure and maize silage: a study of ammonia inhibition in high solids anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 2016; 218: 1215–1223. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512012.
16. Druzyanova V. P., Petrova S. A., Khiterkheeva N. S. The use of zeolites for biogas purification in agricultural production. *E3S Web of Conferences 13*. 2020; 161: 105077.

17. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests. *Toxicology Research*. 2023; 12 (39): 649–667. DOI: 10.1007/s43188-023-00192-2.
18. Marcelo G. A., Galhano J., Duarte M. P. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli*. *Nanomaterials (Basel)*. 2022; 23 (12): 2164.
19. Document monitoring. Documents and comments. *Production Ecology*, 2021; 2: 4–17. (In Russ.)
20. Panfilenko E. V. Changes in legislation in the field of environmental protection. *SNIPI Forum: collection of abstracts of reports of the scientific and technical forum of LLC "SamaraNIPIneft"*. Samara, 2021. P. 142. (In Russ.)
21. Ruiz-Barrera O., Ontiveros-Magadan M., Anderson R. C., Byrd J. A., Hume M. E., Latham E. A., Nisbet D. J., Arzola-Alvarez C., Salinas-Chavira J., Castillo-Castillo Y. Nitro-treatment of composted poultry litter; effects on *Salmonella*, *E. coli* and nitrogen metabolism. *Bioresource Technology*, 2020; 310: 123459. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123459.

**Authors' information:**

**Galina V. Ilyina**, doctor of biological sciences, professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

**Dmitriy Yu. Ilyin**, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

**Anna A. Grishina**, lecturer of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

**Albina R. Dashkina**, postgraduate of the department of soil science, agrochemistry and chemistry, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*



## Влияние трийодтиронина *in vitro* на экспрессию регуляторов апоптоза семейства Bcl-2 в клетках гранулезы кур-несушек разного возраста и репродуктивного статуса

И. Ю. Лебедева<sup>✉</sup>, О. С. Митяшова, Е. К. Монтвила, О. В. Алейникова, А. А. Смекалова  
Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста,  
п. Дубровицы, Московская область, Россия  
<sup>✉</sup>E-mail: irledv@mail.ru

**Аннотация.** Цель представленной работы – охарактеризовать *in vitro* влияние трийодтиронина (Т3) на экспрессию проапоптотического белка Вах и антиапоптотического белка Bcl-2 в клетках гранулезы кур-несушек в связи с возрастным снижением яйценоскости. **Методы.** Исследование проводили на курах-несушках в возрасте 29–32 недель с длинным циклом яйцекладки ( $n = 6$ ) и в возрасте 69–84 недель с коротким циклом яйцекладки ( $n = 6$ ). В экспериментах использовали два самых больших преовуляторных фолликула F1 и F2. Выделенные из фолликулов клетки культивировали в среде, содержащей 10 % фетальной бычьей сыворотки. После образования монослойной культуры эту среду заменяли средой без сыворотки и клетки культивировали в течение 48 ч в присутствии Т3 в концентрации 0,5–8,0 нг/мл или без Т3 (контроль). Экспрессию целевых белков в фолликулярных клетках оценивали методом иммуноцитохимии при использовании первичных антител к Вах и Bcl-2. **Результаты.** При культивировании клеток гранулезы из фолликулов F1 у молодых кур внесение Т3 (1,0–8,0 нг/мл) в среду приводило к возрастанию в 1,1 раза ( $p < 0,01 \dots 0,05$ ) доли клеток с позитивной реакцией на Вах и Bcl-2, по сравнению с контролем, но не влияло на эту долю в случае фолликулов F2. У кур с возрастным снижением яйценоскости Т3 повышал в 1,1–1,2 раза ( $p < 0,01 \dots 0,05$ ) экспрессию Вах в культуре клеток гранулезы из фолликулов обеих категорий, но только в концентрации 8,0 нг/мл. Кроме того, при воздействии Т3 (8,0 нг/мл) обнаружено увеличение в 1,1 раза ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем доли Bcl-2-позитивных клеток из фолликулов F1. **Научная новизна.** Впервые показано снижение чувствительности клеток гранулезы самого большого преовуляторного фолликула к регуляторному влиянию Т3 на экспрессию маркеров апоптоза семейства Bcl-2 у постаревших кур в конце первого продуктивного периода.

**Ключевые слова:** куры-несушки, трийодтиронин, преовуляторные фолликулы, клетки гранулезы, апоптоз, белки семейства Bcl-2

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-16-00149).

**Для цитирования:** Лебедева И. Ю., Митяшова О. С., Монтвила Е. К., Алейникова О. В., Смекалова А. А. Влияние трийодтиронина *in vitro* на экспрессию регуляторов апоптоза семейства Bcl-2 в клетках гранулезы кур-несушек // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С 459–472. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-459-472>.

**Дата поступления статьи:** 13.12.2024, **дата рецензирования:** 03.02.2025, **дата принятия:** 18.02.2025.

## The effect of triiodothyronine *in vitro* on the expression of apoptosis regulators of the Bcl-2 family in granulosa cells of laying hens of different ages and reproductive statuses

I. Yu. Lebedeva<sup>✉</sup>, O. S. Mityashova, E. K. Montvila, O. V. Aleynikova, A. A. Smekalova

L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: irladv@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the presented work is to characterize *in vitro* the effect of triiodothyronine (T3) on the expression of proapoptotic protein Bax and antiapoptotic protein Bcl-2 in granulosa cells of laying hens in connection with the age-related decline in egg production. **Research methods.** The study was performed on laying hens aged 29–32 weeks with a long egg-laying cycle ( $n = 6$ ) and 69–84 weeks with a short egg-laying cycle ( $n = 6$ ). The two largest preovulatory follicles F1 and F2 were used in the experiments. The cells isolated from the follicles were cultured in the medium containing 10 % fetal bovine serum. After the formation of the monolayer, this medium was replaced with the serum-free medium and the cells were cultured for 48 h in the presence of T3 at a concentration of 0.5–8.0 ng/ml or without T3 (control). The expression of target proteins in follicular cells was assessed by immunocytochemistry using primary antibodies to Bax and Bcl-2. **Results.** When culturing granulosa cells from F1 follicles of young hens, the addition of T3 (1.0–8.0 ng/ml) to the medium led to a 1.1-fold ( $p < 0.01...0.05$ ) increase in the proportion of cells with the positive reaction to Bax and Bcl-2, compared to control, but did not affect this proportion in the case of F2 follicles. In hens with the age-related decline in egg production, T3 increased 1.1–1.2 times ( $p < 0.01...0.05$ ) the Bax expression in the granulosa cell culture from follicles of both categories, but only at a concentration of 8.0 ng/ml. In addition, when exposed to T3 (8.0 ng/ml), a 1.1-fold ( $p < 0.05$ ) increase was found in the proportion of Bcl-2-positive cells from F1 follicles compared to control. **Scientific novelty.** For the first time, a decrease in the sensitivity of granulosa cells of the largest preovulatory follicle to the regulatory effect of T3 on the expression of Bcl-2 family apoptosis markers in middle-aged hens at the end of the first productive period was shown.

**Keywords:** laying hens, triiodothyronine, preovulatory follicles, granulosa cells, apoptosis, Bcl-2 family proteins

**Acknowledgments.** The study was supported by the Russian Science Foundation (No. 22-16-00149).

**For citation:** Lebedeva I. Yu., Mityashova O. S., Montvila E. K., Aleynikova O. V., Smekalova A. A. The effect of triiodothyronine *in vitro* on the expression of apoptosis regulators of the Bcl-2 family in granulosa cells of laying hens of different ages and reproductive statuses. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 459–472. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-459-472>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 13.12.2024, **date of review:** 03.02.2025, **date of acceptance:** 18.02.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Яйценоскость домашних кур постепенно снижается в течение первого продуктивного периода, причем начальные признаки такого снижения могут наблюдаться с 68-й недели жизни, а в коммерческих линиях несушек – после 80-й недели [1; 2]. Первый период яйцекладки, который у современных кроссов может длиться до 100-недельного возраста, завершается периодом линьки – естественной или принудительной (индуцированной) [3]. В этот период происходит трансформация репродуктивных органов, связанная с их регрессией и последующим восстановлением, причем оба процесса обусловлены кардинальными изменениями активности эндокринной системы [4]. После обновления ре-

продуктивной системы у кур наступает следующий продуктивный период, однако их яйценоскость не достигает значений, наблюдаемых в течение первого периода яйцекладки. Возрастные изменения воспроизводительной функции, вызывающие снижение яйценоскости кур к концу первого продуктивного периода, обуславливают экономическую нецелесообразность их дальнейшего содержания в условиях промышленного птицеводства.

Снижение репродуктивного потенциала кур к концу первого продуктивного периода проявляется в ухудшении качества яиц, особенно скорлупы, и в различных нарушениях овариального цикла, которые приводят к укорочению циклов яйцекладки (периодов ежедневной кладки яиц) [1; 5]. К таким

нарушениям относят удлинение межовуляторного интервала, находящегося под контролем циркадных генов, и рост частоты встречаемости ановуляторных циклов при сохранении продолжительности интервала между овуляциями [1; 6]. При этом феномен ановуляции связан либо с атрезией преовуляторных фолликулов, которая практически не наблюдается у молодых кур, либо с внутрибрюшной овуляцией, являющейся, вероятно, следствием нарушения циркадных ритмов в яйцеводе [6; 7]. Вместе с тем снижен интенсивности яйцекладки не происходит синхронно у кур одного возраста [1], что указывает на наличие механизмов, способных тормозить ухудшение репродукции. Изучение таких механизмов, а также факторов, участвующих в их реализации, будет способствовать созданию научной базы для разработки способов продления периода хозяйственного использования птицы.

Постепенное возрастное снижение яйценоскости кур обусловлено старением яичников, которые первыми подвергаются этому деструктивному процессу [8]. Как следствие, ускоряются негативные изменения в других органах и повышается вероятность возникновения различных патологий и дисфункций [8; 9]. Механизмы старения яичников довольно разнообразны, при этом к ключевым триггерам относят окислительный стресс, митохондриальную дисфункцию, нарушение клеточного метаболизма, повреждение ДНК, укорочение теломер и эпигенетические изменения [10–13]. Возрастное ухудшение функции яичника у птиц, как и у млекопитающих, связано прежде всего с истощением запаса примордиальных фолликулов и снижением качества ооцитов и соматических фолликулярных клеток [14]. Вследствие этих процессов происходит изменение продукции репродуктивных гормонов, а также экспрессии соответствующих рецепторов [15; 16].

Яйценоскость кур зависит от комбинации трех типов факторов: эндокринных, генетических и факторов окружающей среды. Среди эндокринных регуляторов яйценоскости выделяют гонадотропин-рилизинг-гормон, пролактин, фолликулостимулирующий гормон (ФСГ), лютеинизирующий гормон (ЛГ), а также овариальные стероидные гормоны [17]. К настоящему времени установлено, что гормоны гипофизарно-овариальной оси могут быть вовлечены в регуляцию старения яичников млекопитающих [18], однако их роль в возрастном уменьшении репродуктивного потенциала птиц до сих пор неясна. Так, с возрастом у кур выявлено снижение содержания в гипофизе мРНК  $\alpha$ -субъединицы, общей для гонадотропных гормонов, однако оно было ассоциировано только с уровнем ЛГ в крови, но не ФСГ [19]. Недавно была продемонстрирована способность ФСГ ослаблять овариальное старение у домашних кур путем регуляции энергетического метаболизма и защиты ДНК фолликулярных клеток

от повреждающего действия окислительного стресса [20; 21]. Также обнаружено, что возрастному снижению продукции стероидных гормонов в яичнике кур сопутствуют дегенеративные изменения митохондрий и усиление апоптоза в овариальных тканях [22].

Наряду с гормонами гипофизарно-овариальной оси в контроль репродуктивной функции у кур, как и у млекопитающих, вовлечены и другие компоненты эндокринной системы, включая гормоны щитовидной железы, являющиеся ключевыми регуляторами клеточного метаболизма [6; 23]. В яичнике птиц выявлена экспрессия ядерных и мембранных тиреоидных рецепторов, а также дейодиназ, контролирующих локальный метаболизм тиреоидных гормонов, и мембранных транспортеров, необходимых для поступления этих гормонов в клетки [24–26]. Установлено, что содержание трийодтиронина (Т3) в крови птиц влияет на сезонную секрецию гонадотропин-стимулирующего гормона [27]. Во время преовуляторной волны репродуктивных гормонов показано изменение экспрессии компонентов гипофизарно-тиреоидной оси в яичнике индеек, а также баланса гормонов этой оси у индеек и кур-несушек [26; 28]. Это свидетельствует об изменении степени воздействия тиреоидных гормонов на яичник птиц непосредственно перед овуляцией. Кроме того, на модели *in vitro* культивирования продемонстрировано модулирующее действие Т3 на стероидогенную и пролиферативную активность фолликулярных клеток кур [25; 29]. С помощью транскриптомного анализа также выявлена зависимость яичной продуктивности индеек и уток от экспрессии генов, отвечающих за синтез эффекторных белков, опосредующих воздействие тиреоидных гормонов [30; 31].

Ряд имеющихся данных свидетельствует об участии тиреоидных гормонов у млекопитающих в регуляции преждевременного старения яичников и сохранении пула примордиальных фолликулов путем модуляции сигнальных путей, связанных с процессами старения [32]. В то же время с возрастом происходит ухудшение работы щитовидной железы, изменяется ее регуляция [33; 34]. Кроме того, старение влияет на степень воздействия тиреоидных гормонов на клетки-мишени путем модуляции активности дейодиназ, отвечающих за преобразование менее активного тироксина в более активный Т3, а также изменения экспрессии тиреоидных рецепторов [35].

Ранее нами было показано, что содержание тиреоидных гормонов в крови кур-несушек различается в начале и в конце первого продуктивного периода [36]. При этом у птиц с разной интенсивностью репродуктивного старения выявлены различия взаимосвязей между тиреоидными и половыми стероидными гормонами [37]. Следует также отметить, что нарушение функции щитовидной железы

может приводить к изменению экспрессии циркадных генов, контролирующих овуляторный цикл, регуляция которого изменяется в процессе старения кур [6; 38]. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования, направленные на выяснение роли тиреоидных гормонов в возрастном снижении яйценоскости кур-несушек.

Как известно, нарушение регуляции программируемой клеточной смерти, включая апоптоз, связано со старением и возрастными заболеваниями [39]. Белки семейства Bcl-2 служат ключевыми регуляторами апоптоза в клетках различного типа, в том числе в клетках гранулезы кур [40; 41]. Они влияют на пермеабиллизацию (проницаемость) внешней мембраны митохондрий и освобождение в цитозоль цитохрома С и других белков, активирующих митохондриальный путь клеточной смерти. При этом антиапоптотические члены этого семейства, в первую очередь белок Bcl-2, контролируют активность проапоптотического белка Вах путем образования с ним гетеродимеров и/или блокирования его взаимодействия с активаторными белками [42].

На основании вышеизложенного цель представленной работы заключалась в изучении *in vitro* влияния трийодтиронина (ТЗ) на экспрессию белков Вах и Bcl-2, а также на соотношение Вах/Bcl-2 в клетках гранулезы кур-несушек в связи с возрастным снижением яйценоскости.

#### Методология и методы исследования (Methods)

В экспериментах использовали кур породы Хайсекс Уайт, содержащихся на физиологическом дворе ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в отдельном помещении с центральным отоплением и принудительной вентиляцией в условиях 12-часового освещения в сутки. Птицам были предоставлены неограниченный доступ к воде и одноразовое кормление комбикормом Purina Special (Nestlé Purina PetCare, США) в соответствии с зоотехническими нормами. Кур содержали в отдельных клетках с целью индивидуального мониторинга яйценоскости и времени снесения яиц, который проводили с помощью видеосистемы. Все исследования на птице выполняли согласно принципам ветеринарной медицинской этики<sup>1</sup> и Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> The veterinarian-client-patient relationship (VCPR) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.avma.org/resources-tools/pet-owners/petcare/veterinarian-client-patient-relationship-vcpr> (дата обращения: 12.12.2024).

<sup>2</sup> European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS No. 123). Strasbourg, 18.03.1986 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treaty-num=123> (дата обращения: 12.12.2024).

Для экспериментов были отобраны две группы птиц, находящихся в первом продуктивном периоде: в возрасте 29–32 недель с длинным циклом яйцекладки (с периодами ежедневной кладки яиц не менее 7 дней,  $n = 6$ ) и в возрасте 69–84 недель с коротким циклом яйцекладки (несущихся ежедневно в течение 3–6 дней,  $n = 6$ ). Овариэктомию кур проводили через 7 ч после снесения яйца, чтобы минимизировать влияние преовуляторного пика репродуктивных гормонов на фолликулярные клетки.

В исследовании использовали два преовуляторных фолликула F1 и F2, где F1 – самый большой фолликул, предназначенный к овуляции в текущем цикле, а F2 – второй по размеру фолликул, предназначенный к овуляции в следующем цикле. Слой гранулезы выделяли в соответствии с методом А. В. Gilbert с соавт. [43] и многократно отмывали от желтка в стерильном фосфатно-солевом растворе Дюльбекко, содержащем 50 мкг/мл гентамицина. После удаления части слоя, прилегающей к зародышевому диску, изолировали гранулезные клетки согласно методике, описанной ранее [1].

Клетки культивировали в чашках Петри на покровных стеклах в среде DMEM, содержащей 25 mM HEPES и 1 г/л глюкозы (Servicebio, КНР), с добавлением 1 mM глутамина (Sigma-Aldrich, США), 10 мл/л раствора антибиотика-антимикотика (Gibco, США) и 10 % сыворотки (Hyclone Laboratories, США). Концентрация клеток в исходной суспензии составляла  $0,5 \times 10^6$  клеток/мл среды при жизнеспособности не менее 80 % (окрашивание трипановым синим). После образования монослойной культуры среду заменяли свежей средой без сыворотки, клетки культивировали в течение 48 ч в присутствии ТЗ (Sigma-Aldrich, США) в концентрации 0,5–8,0 нг/мл или без ТЗ (контроль). В каждом независимом эксперименте по культивированию использовали клетки, выделенные от одной курицы, при этом все эксперименты проводили в 6 независимых повторностях для каждой группы кур.

Экспрессию целевых белков в гранулезных клетках оценивали иммуноцитохимическим методом, как описано нами ранее [44]. Все этапы обработки клеток, за исключением инкубации с первичными антителами, проводили при комнатной температуре. После культивирования клетки 3 раза промывали фосфатно-солевым буфером (ФСБ, pH 7,4) и фиксировали в течение 15 мин 2-процентным раствором параформальдегида в ФСБ. Затем клетки пермеабиллизировали в течение 15 минут 0,2-процентным раствором Тритона X-100 в ФСБ, промывали 2 раза ФСБ и обрабатывали в течение 1 ч 10-процентным раствором нормальной лошадиной сыворотки (Vector Laboratories, Inc., США) с целью блокирования неспецифического связывания иммуноглобулинов. Препараты инкубировали при 4 °C в течение 18 ч с первичными мышинными



антителами к проапоптотическому белку Вах или антиапоптотическому белку Bcl-2 (все антитела – Atagenix, КНР; разведение 1 : 200), а затем – со вторыми биотинилированными антителами (лошадиными антимышиными иммуноглобулинами; Vector Laboratories, Inc., США; разведение 1 : 100) в течение 30 минут. Визуализацию специфического связывания проводили путем инкубации с реагентом Vectastain ABC в течение 30 минут и коричневым хромофором DAB в течение 5 минут (оба реагента – Vector Laboratories, Inc., США). Микрофотографирование проводили под микроскопом Axio Scope.A1 (Carl Zeiss, Германия), оснащенным цифровой камерой AxioCam ICc5 (Carl Zeiss, Германия) при увеличении 400х. Уровень экспрессии Вах и Bcl-2 выражали как долю специфически окрашенных в коричневый цвет клеток от общего числа клеток (рис. 1).

Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа с повторными измерениями при помощи программы SigmaStat 4.0 (Systat Software, Inc., США). Факторами повторных измерений служили концентрация ТЗ в среде культивирования клеток и категория фолликулов (F1 или F2). Данные представлены как средние значения (M) ± стандартные ошибки (SEM). Достоверность различия сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки.

### Результаты (Results)

У молодых кур внесение ТЗ (1,0–8,0 нг/мл) в среду культивирования клеток гранулезы из фолликулов F1 приводило к возрастанию в 1,1 раза ( $p < 0,01...0,05$ ) по сравнению с контролем доли клеток с позитивной реакцией на проапоптотический маркер Вах, но не влияло на эту долю в слу-

чае фолликулов F2 (рис. 2А). При этом экспрессия белка Вах в присутствии 8 нг/мл ТЗ была в 1,1 раза выше ( $p < 0,05$ ) в клетках из фолликулов F1, чем из фолликулов F2.

Сходное стимулирующее влияние ТЗ оказывал и на экспрессию антиапоптотического маркера Bcl-2 (рис. 2Б). Доля Bcl-2-позитивных клеток гранулезы из фолликулов F1 повышалась в 1,1 раза ( $p < 0,001...0,01$ ) при воздействии ТЗ в концентрации 2,0–8,0 нг/мл по сравнению с контролем. В то же время клетки из фолликулов F2 были нечувствительны к модулирующему действию гормона, что приводило к более низкой (в 1,1 раза,  $p < 0,05$ ) экспрессии белка Bcl-2 в присутствии ТЗ (2,0–8,0 нг/мл), чем в клетках из фолликулов F1.

Трийодтиронин не влиял у молодых кур на соотношение уровней экспрессии Вах и Bcl-2 в клетках гранулезы из фолликулов обеих категорий (рис. 2В). Следовательно, гормон не изменял баланс этих сопряженных белков семейства Bcl-2 в гранулезных клетках. Вместе с тем в отсутствие гормона и в присутствии ТЗ в концентрации 0,5 и 4,0 нг/мл это соотношение было в 1,1 раза выше в фолликулах F2, чем в фолликулах F1 ( $p < 0,01...0,05$ ).

У кур с возрастным снижением яйценоскости ТЗ (8,0 нг/мл) усиливал в 1,1–1,2 раза ( $p < 0,01...0,05$ ) экспрессию Вах в культуре клеток гранулезы из фолликулов F1 по сравнению с этими же клетками, культивируемыми в присутствии исследуемого гормона в концентрации 0–1,0 нг/мл (рис. 3А). Кроме того, в случае фолликулов F2 повышение содержания ТЗ в среде с 2,0 до 8,0 нг/мл приводило к возрастанию в 1,1–1,2 раза (по сравнению с контролем и концентрациями гормона 1,0–2,0 нг/мл,  $p < 0,05$ ) доли клеток с позитивной реакцией на Вах.

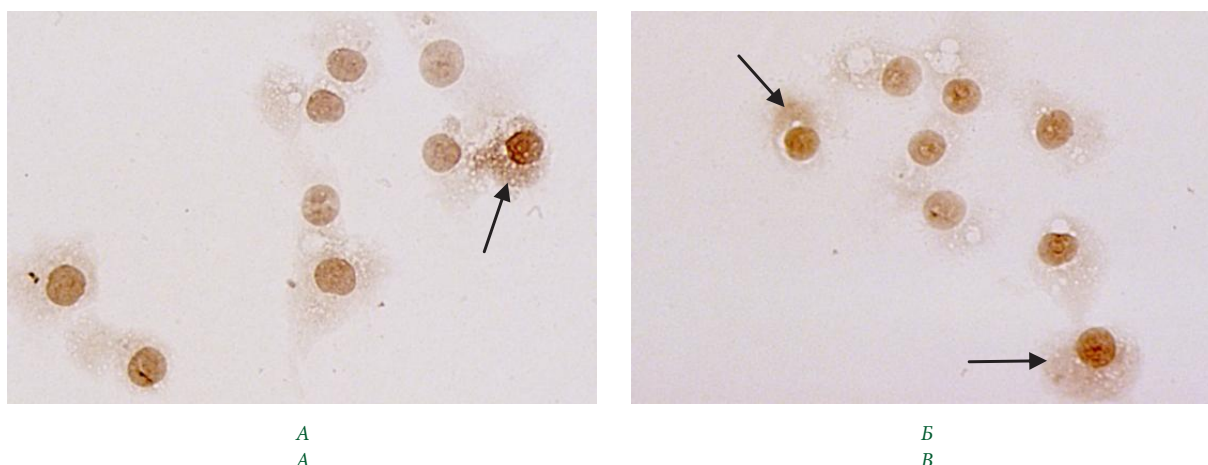


Рис. 1. Иммуноцитохимический анализ экспрессии проапоптотического белка Вах (А) и антиапоптотического белка Bcl2 (Б) в клетках гранулезы кур.

Стрелками показано позитивное окрашивание клеток на Вах и Bcl-2

Fig. 1. Immunocytochemical analysis of the expression of proapoptotic protein Bax (A) and antiapoptotic protein Bcl2 (B) in hen granulosa cells.

Arrows indicate positive staining of cells for Bax and Bcl-2

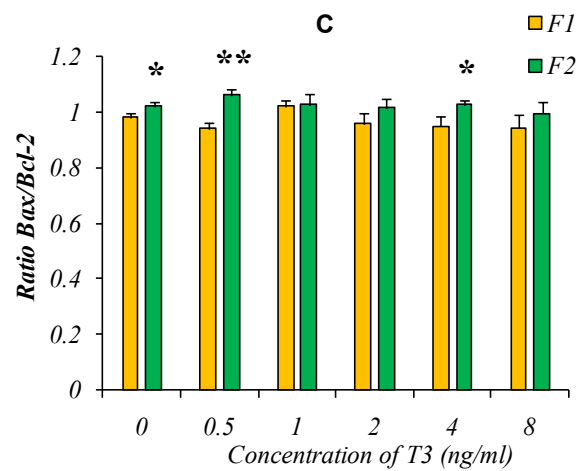
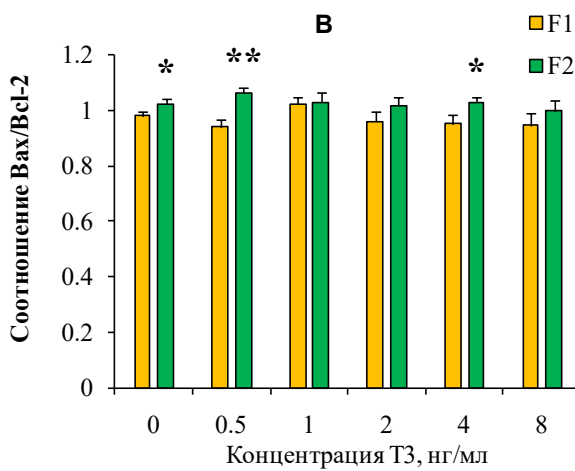
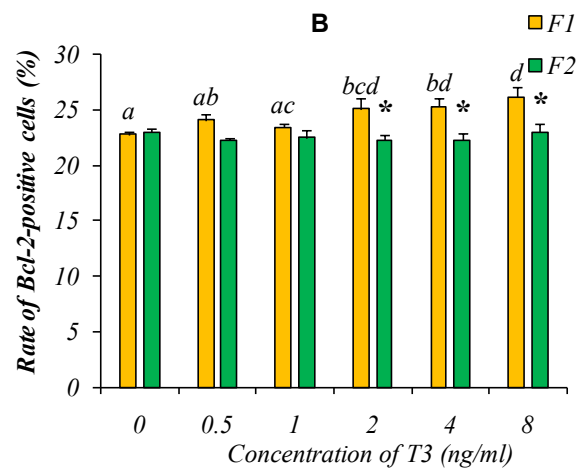
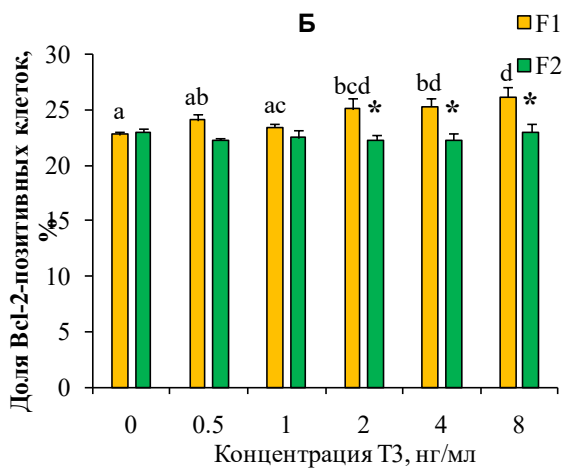
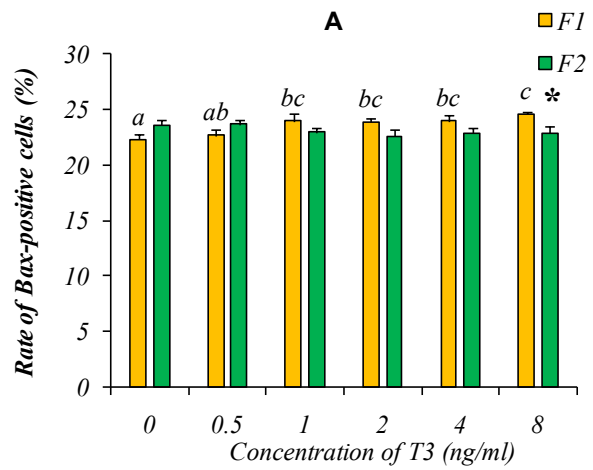
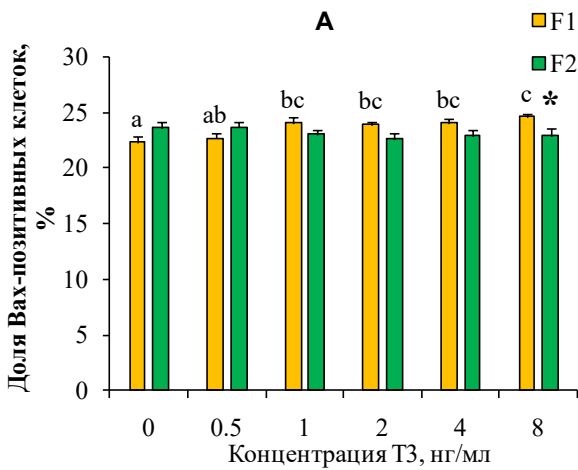


Рис. 2. Экспрессия белков Bax (A) и Bcl-2 (B) и соотношение экспрессии Bax/Bcl-2 (B) в культивируемых клетках гранулезы из преовуляторных фолликулов молодых кур в присутствии трийодтиронина (Т3) в различных концентрациях (M ± SEM). Средние значения, помеченные индексами, не содержащими одинаковых букв, достоверно различаются ( $p < 0,001...0,05$ ;  $n = 6$ ). Звездочки показывают достоверные различия между фолликулами F1 и F2: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

Fig. 2. Expression of Bax (A) and Bcl-2 (B) proteins and the Bax/Bcl-2 ratio (C) in cultured granulosa cells from preovulatory follicles of young hens in the presence of triiodothyronine (T3) at different concentrations (M ± SEM).

Means marked with indices that do not contain the same letters differ significantly ( $p < 0,001...0,05$ ;  $n = 6$ ). Asterisks indicate significant differences between F1 and F2 follicles: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

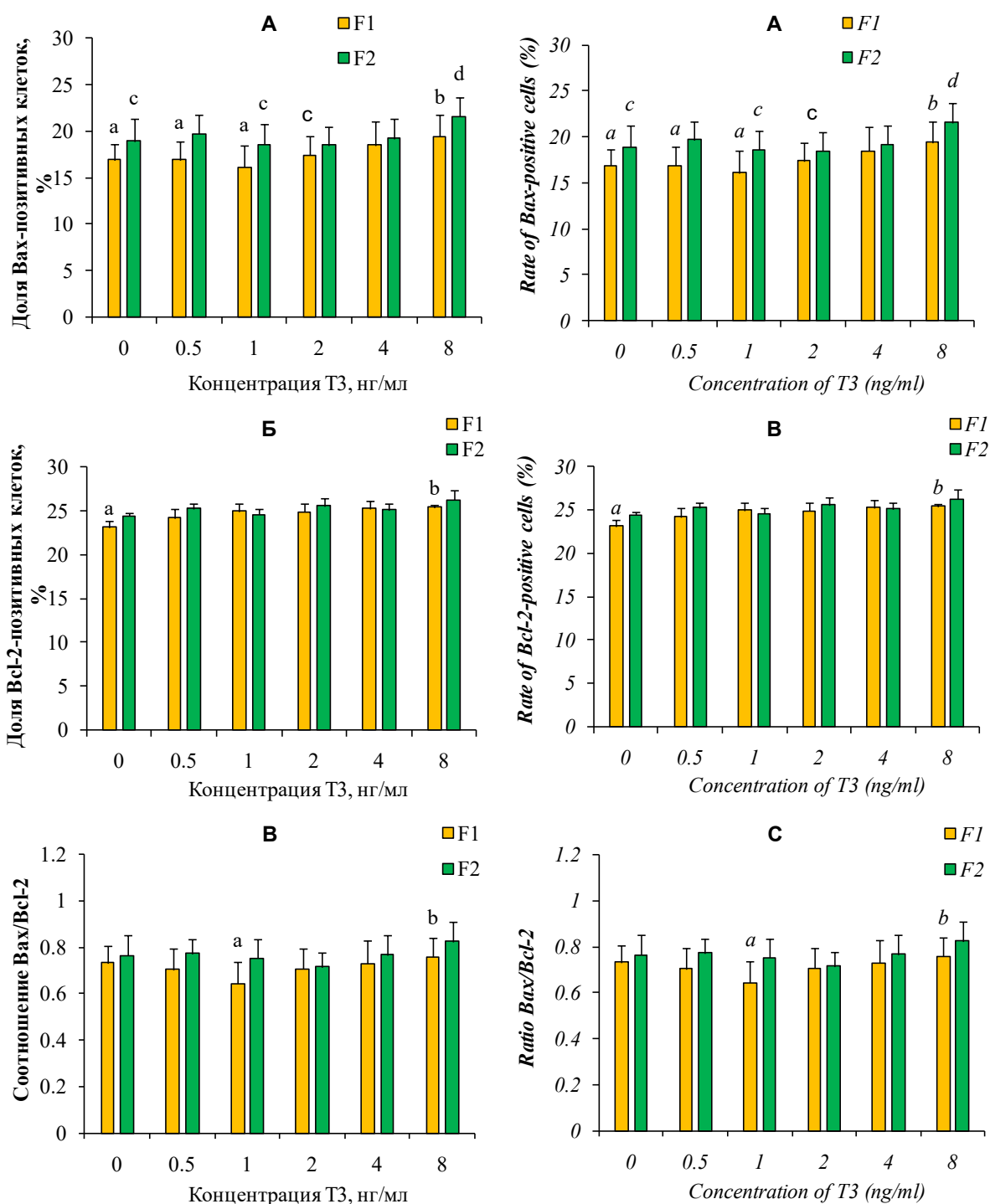


Рис. 3. Экспрессия белков Bax (A) и Bcl-2 (Б) и соотношение экспрессии Bax/Bcl-2 (В) в культивируемых клетках гранулезы из преовуляторных фолликулов продуктивно постаревших кур в присутствии трийодтиронина (Т3) в различных концентрациях ( $M \pm SEM$ ). Средние значения, помеченные индексами, не содержащими одинаковых букв, достоверно различаются ( $p < 0,01...0,05$ ;  $n = 6$ )

Fig. 3. Expression of Bax (A) and Bcl-2 (B) proteins and the Bax/Bcl-2 ratio (C) in cultured granulosa cells from preovulatory follicles of productively-aged hens in the presence of triiodothyronine (T3) at different concentrations ( $M \pm SEM$ ). Means marked with indices that do not contain the same letters differ significantly ( $p < 0.01...0.05$ ;  $n = 6$ )

Трийодтиронин увеличивал в 1,1 раза ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем экспрессию Bcl-2 в клетках гранулезы из фолликулов F1 при концентрации 8,0 нг/мл (рис. 3Б). В то же время эта экспрессия не зависела от содержания Т3 в культуральной среде в случае фолликулов F2. Соотношение уровней экспрессии Вах и Bcl-2 в клетках из фолликулов F1 было минимальным в присутствии Т3 в концентрации 1,0 нг/мл (рис. 3В). Повышение этой концентрации до 8,0 нг/мл обуславливало возрастание в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ) соотношения Вах/Bcl-2, т. е. сдвиг баланса белков семейства Bcl-2 в гранулезных клетках в сторону проапоптотического белка.

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

Данные, полученные на млекопитающих, свидетельствуют о том, что и гипертиреозное, и гипотиреозное состояние может обуславливать повышение уровня апоптотических изменений в репродуктивных органах [45]. При этом исследования *in vitro* выявили тканевую специфичность характера действия Т3 на апоптоз в клетках-мишенях [46; 47]. В то же время имеется очень мало информации о влиянии гормонов щитовидной железы на резистентность клеток кур к апоптозу. Показано, что введение Т3 курам-несушкам вызывает связанную с апоптозом атрезию преовуляторных фолликулов, а индуцированное понижение уровня Т3 в крови петушков приводит к усилению апоптоза, повышению экспрессии проапоптотического маркера Вах и уменьшению экспрессии антиапоптотического маркера Bcl-2 в семенниках [25; 48]. Кроме того, инъекции Т3 в куриные эмбрионы обуславливали повышение апоптоза в зрительной доле, сопряженное с ростом уровня мРНК, кодирующей Вах [49]. Однако все перечисленные эффекты могут быть опосредованными, что не позволяет охарактеризовать прямое влияние тиреоидных гормонов на апоптоз у кур.

Овариальные фолликулы кур-несушек служат мишенью для воздействия тиреоидных гормонов, что подтверждается экспрессией ядерных и мембранных тиреоидных рецепторов, а также модулирующим действием Т3 *in vitro* на стероидогенез и пролиферацию фолликулярных клеток [25; 29]. В представленной работе впервые выявлена способность Т3 модулировать функционирование митохондриального сигнального пути апоптоза, связанного с белками Вах и Bcl-2, в клетках гранулезы из преовуляторных фолликулов домашней курицы. Эта способность Т3 наблюдалась у молодых кур-несушек уже в диапазоне физиологических концентраций (1–2 нг/мл) [28; 50] и сохранялась вплоть до 8 нг/мл. Однако у репродуктивно постаревших птиц Т3 стимулировал экспрессию белков семейства Bcl-2 только при концентрации 8 нг/мл, которая значительно превышает физиологический диапазон в этом возрасте [36; 37], что свидетель-

ствует об уменьшении чувствительности клеток к гормону.

Необходимо подчеркнуть, что у молодых кур способность клеток гранулезы отвечать на Т3 зависела от степени созревания преовуляторных фолликулов, поскольку стимулирующее влияние гормона на экспрессию Вах и Bcl-2 было обнаружено только в случае наиболее созревших фолликулов F1, предназначенных для овуляции в текущем цикле. Полученные данные в целом согласуются с общепризнанной концепцией о высокой резистентности клеток преовуляторных фолликулов к апоптозу у молодых кур-несушек благодаря повышенной экспрессии антиапоптотических генов, в том числе генов семейства Bcl-2 [51]. В этой связи можно предположить, что устойчивость митохондриального пути апоптоза к воздействию внешних факторов в фолликулах F1 ослабляется вследствие подготовки к перепрограммированию соматических клеток, остающихся в брюшной полости после овуляции яйцеклетки и подвергающихся быстрой регрессии [52]. Вместе с тем следует отметить, что Т3 не влиял на баланс Вах и Bcl-2 и, следовательно, не усиливал связанные с ним апоптотические изменения в гранулезных клетках фолликулов F1 у молодых птиц.

В то же время у постаревших кур с пониженной интенсивностью яйцекладки не было выявлено существенного отличия фолликулов F2 от F1 по чувствительности к Вах-модулирующему действию Т3, что может свидетельствовать об ослаблении резистентности к апоптозу клеток гранулезы из фолликулов обеих категорий. Этот вывод соответствует современным представлениям о повышении атретических (апоптотических) изменений в преовуляторных фолликулах с возрастом кур [51]. При этом в конце первого периода яйцекладки соотношение Вах/Bcl-2 в клетках гранулезы из фолликулов F1 было самым низким *in vitro* при физиологической концентрации 1 нг/мл и повышалось в присутствии 8 нг/мл. Следовательно, у репродуктивно постаревших птиц Т3 в высокой концентрации способен сместить баланс между антиапоптотическими и проапоптотическими белками в сторону последних, уменьшая резистентность гранулезных клеток к апоптозу в фолликулах F1.

В целом результаты нашего исследования показывают снижение чувствительности клеток гранулезы самого большого преовуляторного фолликула к регуляторному влиянию Т3 на экспрессию маркеров апоптоза семейства Bcl-2 у постаревших кур в конце первого продуктивного периода. Кроме того, они свидетельствуют о различной резистентности к апоптозу клеток из фолликулов F1 и F2 у молодых кур и о способности Т3 в высокой концентрации активировать митохондриальный путь апоптоза у репродуктивно постаревших птиц. Для более глу-



бокого понимания роли тиреоидной системы в механизмах возрастного снижения яйценоскости кур необходимы дальнейшие исследования, в том числе

связанные с мониторингом экспрессии тиреоидных рецепторов и дейодиназ в фолликулярных клетках в течение первого периода яйцекладки.

#### Библиографический список

1. Lebedeva I. Y., Lebedev V. A., Grossmann R., Parvizi N. Age-dependent role of steroids in the regulation of growth of the hen follicular wall // *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2010. Vol. 8, No. 1. Article number 15. DOI: 10.1186/1477-7827-8-15.
2. Liu X., Lin X., Mi Y., Li J., Zhang C. Grape seed proanthocyanidin extract prevents ovarian aging by inhibiting oxidative stress in the hens // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018. Vol. 2018. Article number 9390810. DOI: 10.1155/2018/9390810.
3. Korver D. R. Review: Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare // *Animal*. 2023. Vol. 17, Suppl. 2. Article number 100755. DOI: 10.1016/j.animal.2023.100755.
4. Фисинин В. И., Коноплева А. П. О физиологических и морфологических процессах в организме птицы при естественной и принудительной линьке // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50, № 6. С. 719–728. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.6.719rus.
5. Eltahan H. M., Cho S., Rana M. M., Saleh A. A., Elkomy A. E., Wadaan M. A. M., Alagawany M., Kim I. H., Eltahan H. M. Dietary exogenous phytase improve egg quality, reproductive hormones, and prolongs the lifetime of the aging Hy-Line brown laying hens fed nonphytate phosphorus // *Poultry Science*. 2023. Vol. 102, No. 9. Article number 102895. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102895.
6. Scanes C. G. Discontinuities in understanding follicular development, the ovulatory cycle and the oviposition cycles in the hen: advances, opportunities, slow downs and complete stops // *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13. Article number 1023528. DOI: 10.3389/fphys.2022.1023528.
7. Navara K. J., Pinson S. E., Chary P., Taube P. C. Higher rates of internal ovulations occur in broiler breeder hens treated with testosterone // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94, No. 6. Pp. 1346–1352. DOI: 10.3382/ps/pev103.
8. Tesarik J., Galán-Lázaro M., Mendoza-Tesarik R. Ovarian aging: molecular mechanisms and medical management // *International Journal of Molecular Sciences* 2021. Vol. 22, No. 3. Article number 1371. DOI: 10.3390/ijms22031371.
9. López-Otín C., Blasco M. A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. Hallmarks of aging: an expanding universe // *Cell*. 2023. Vol. 186. No. 2. Pp. 243–278. DOI: 10.1016/j.cell.2022.11.001.
10. Yan F., Zhao Q., Li Y., Zheng Z., Kong X., Shu C., Liu Y., Shi Y. The role of oxidative stress in ovarian aging: a review // *Journal of Ovarian Research*. 2022. Vol. 15, No. 1. Article number: 100. DOI: 10.1186/s13048-022-01032-x.
11. Chiang J. L., Shukla P., Pagidas K., Ahmed N. S., Karri S., Gunn D. D., Hurd W. W., Singh K. K. Mitochondria in ovarian aging and reproductive longevity // *Ageing Research Reviews*. 2020. Vol. 63. Article number 101168. DOI: 10.1016/j.arr.2020.101168.
12. Bao S., Yin T., Liu S. Ovarian aging: energy metabolism of oocytes // *Journal of Ovarian Research*. 2024. Vol. 17, No. 1. Article number 118. DOI: 10.1186/s13048-024-01427-y.
13. Zhu Z., Xu W., Liu L. Ovarian aging: mechanisms and intervention strategies // *Medical Review*. 2022. Vol. 2, No. 6. Pp. 590–610. DOI: 10.1515/mr-2022-0031.
14. Hao E. Y., Chen H., Wang D. H., Huang C. X., Tong Y. G., Chen Y. F., Zhou R. Y., Huang R. L. Melatonin regulates the ovarian function and enhances follicle growth in aging laying hens via activating the mammalian target of rapamycin pathway // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99, No. 4. Pp. 2185–2195. DOI: 10.1016/j.psj.2019.11.040.
15. Tatone C., Amicarelli F., Carbone M. C., Monteleone P., Caserta D., Marci R., Artini P. G., Piomboni P., Focarelli R. Cellular and molecular aspects of ovarian follicle ageing // *Human Reproduction Update*. 2008. Vol. 14, No. 2. Pp. 131–142. DOI: 10.1093/humupd/dmm048.
16. Camaioni A., Ucci M. A., Campagnolo L., De Felici M., Klinger F. G. The process of ovarian aging: it is not just about oocytes and granulosa cells // *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*. 2022. Vol. 39, No. 4. Pp. 783–792. DOI: 10.1007/s10815-022-02478-0.
17. Du Y., Liu L., He Y., Dou T., Jia J., Ge C. Endocrine and genetic factors affecting egg laying performance in chickens: a review // *British Poultry Science*. 2020. Vol. 61, No. 5. Pp. 538–549. DOI: 10.1080/00071668.2020.1758299.
18. Colella M., Cuomo D., Peluso T., Falanga I., Mallardo M., De Felice M., Ambrosino C. Ovarian aging: role of pituitary-ovarian axis hormones and ncRNAs in regulating ovarian mitochondrial activity // *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. 2021. Vol. 12. Article number 791071. DOI: 10.3389/fendo.2021.791071.

19. Ciccone N. A., Sharp P. J., Wilson P. W., Dunn I. C. Changes in reproductive neuroendocrine mRNAs with decreasing ovarian function in ageing hens // *General and Comparative Endocrinology*. 2005. Vol. 144, No. 1. Pp. 20–27. DOI: 10.1016/j.ygcen.2005.04.009.
20. Zhou S., Zhao A., Wu Y., Bao T., Mi Y., Zhang C. Protective effect of follicle-stimulating hormone on DNA damage of chicken follicular granulosa cells by inhibiting CHK2/p53 // *Cells*. 2022. Vol. 11, No. 8. Article number 1291. DOI: 10.3390/cells11081291.
21. Dong J., Guo C., Yang Z., Wu Y., Zhang C. Follicle-stimulating hormone alleviates ovarian aging by modulating mitophagy- and glycolysis-based energy metabolism in hens // *Cells*. 2022. Vol. 11, No. 20. Article number 3270. DOI: 10.3390/cells11203270.
22. Zhan X. Z., Luo P., Zhang C., Zhang L. J., Shen X., Jiang D. L., Liu W. J. Age-related changes in the mitochondrial, synthesis of steroids, and cellular homeostasis of the chicken ovary // *Animal Reproduction Science*. 2024. Vol. 267. Article number 107540. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2024.107540.
23. Brown E. D. L., Obeng-Gyasi B., Hall J. E., Shekhar S. The thyroid hormone axis and female reproduction // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, No. 12. Article number 9815. DOI: 10.3390/ijms24129815.
24. McNabb F. M. The hypothalamic-pituitary-thyroid (HPT) axis in birds and its role in bird development and reproduction // *Critical Reviews in Toxicology*. 2007. Vol. 37, No. 1-2. Pp. 163–193. DOI: 10.1080/10408440601123552.
25. Sechman A. The role of thyroid hormones in regulation of chicken ovarian steroidogenesis // *General and Comparative Endocrinology*. 2013. Vol. 190. Pp. 68–75. DOI: 10.1016/j.ygcen.2013.04.012.
26. Brady K., Long J. A., Liu H. C., Porter T. E. Characterization of hypothalamo-pituitary-thyroid axis gene expression in the hypothalamus, pituitary gland, and ovarian follicles of turkey hens during the preovulatory surge and in hens with low and high egg production // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100. No. 4. Article number 100928. DOI: 10.1016/j.psj.2020.12.026.
27. Guh Y. J., Tamai T. K., Yoshimura T. The underlying mechanisms of vertebrate seasonal reproduction // *Proceedings of the Japan Academy. Series B: Physical and Biological Sciences*. 2019. Vol. 95, No. 7. Pp. 343–357. DOI: 10.2183/pjab.95.025.
28. Лебедева И. Ю., Митяшова О. С., Алейникова О. В., Монтвила Е. К. Уровни гормонов гипофизарно-тиреоидной оси и их связь с овариальными гормонами во время овуляторного цикла у молодых кур-несушек (*Gallus Domesticus* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2024. Т. 59, № 6. С. 1169–1178. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.6.1169rus.
29. Лебедева И. Ю., Митяшова О. С., Смекалова А. А., Алейникова О. В., Монтвила Е. К. Функциональная активность клеток из преовуляторных фолликулов кур (*Gallus domesticus* L.) при воздействии трийодтиронина *in vitro* // *Сельскохозяйственная биология*. 2024. Т. 59, № 4. С. 749–758. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.4.749rus.
30. Bao X., Song Y., Li T., Zhang S., Huang L., Zhang S., Cao J., Liu X., Zhang J. Comparative transcriptome profiling of ovary tissue between black muscovy duck and white muscovy duck with high- and low-egg production // *Genes (Basel)*. 2020. Vol. 12, No. 1. Article number 57. DOI: 10.3390/genes12010057.
31. Brady K., Liu H. C., Hicks J. A., Long J. A., Porter T. E. Transcriptome analysis during follicle development in turkey hens with low and high egg production // *Frontiers in Genetics*. 2021. Vol. 12. Article number 619196. DOI: 10.3389/fgene.2021.619196.
32. Colella M., Cuomo D., Giacco A., Mallardo M., De Felice M., Ambrosino C. Thyroid hormones and functional ovarian reserve: systemic vs. peripheral dysfunctions // *Journal of Clinical Medicine*. 2020. Vol. 9, No. 6. Article number 1679. DOI: 10.3390/jcm9061679.
33. Da Costa V. M., Moreira D. G., Rosenthal D. Thyroid function and aging: gender-related differences // *Journal of Endocrinology*. 2001. Vol. 171, No. 1. Pp. 193–198. DOI: 10.1677/joe.0.1710193.
34. Jasim S., Gharib H. Thyroid and aging // *Endocrine Practice*. 2018. Vol. 24, No. 4. Pp. 369–374. DOI: 10.4158/EP171796.RA.
35. Silvestri E., Lombardi A., de Lange P., Schiavo L., Lanni A., Goglia F., Visser T. J., Moreno M. Age-related changes in renal and hepatic cellular mechanisms associated with variations in rat serum thyroid hormone levels // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2008. Vol. 294, No. 6. Pp. 1160–1168. DOI: 10.1152/ajpendo.00044.2008.
36. Лебедева И. Ю., Митяшова О. С., Алейникова О. В., Монтвила Е. К., Лахонин П. Д., Колесник Н. С. Возрастные изменения содержания в крови микроэлементов, связанных с активностью тиреоидной системы у кур-несушек // *Зоотехния*. 2024. № 11. С. 27–30. DOI: 10.25708/ZT.2024.66.29.007.

37. Лебедева И. Ю., Митяшова О. С., Алейникова О. В., Монтвила Е. К., Смекалова А. А. Возрастная вариабельность уровней половых и тиреоидных гормонов в крови кур-несушек в связи с интенсивностью репродуктивного старения // Зоотехния. 2024. № 12. С. 37–40. DOI: 10.25708/ZT.2024.63.68.010.
38. Fu J., Fan Z., He L., Liu Q., Liu H., Li Y., Guan H. Circadian clock disruption in autoimmune thyroiditis // European Thyroid Journal. 2023. Vol. 12, No. 5. Article number e230035. DOI: 10.1530/ETJ-23-0035.
39. Tower J. Programmed cell death in aging // Ageing Research Reviews. 2015. Vol. 23, Pt A. Pp. 90–100. DOI: 10.1016/j.arr.2015.04.002.
40. King L. E., Hohorst L., García-Sáez A. J. Expanding roles of BCL-2 proteins in apoptosis execution and beyond // Journal of Cell Science. 2023. Vol. 136, No. 22. Article number jcs260790. DOI: 10.1242/jcs.260790.
41. Cheng B., Shi Y., Wu Q., Wang Y., Ma Y. Selenium protects follicular granulosa cells from apoptosis induced by mercury through inhibition of ATF6/CHOP pathway in laying hens // Biological Trace Element Research. 2023. Vol. 201, No. 11. Pp. 5368–5378. DOI: 10.1007/s12011-023-03589-0.
42. Spitz A. Z., Gavathiotis E. Physiological and pharmacological modulation of BAX // Trends in Pharmacological Sciences. 2022. Vol. 43, No. 3. Pp. 206–220. DOI: 10.1016/j.tips.2021.11.001.
43. Gilbert A. B., Evans A. J., Perry M. M., Davidson M. H. A method for separating the granulosa cells, the basal lamina and the theca of the preovulatory ovarian follicle of the domestic fowl (*Gallus domesticus*) // Journal of Reproduction and Fertility. 1977. Vol. 50, No. 1. Pp. 179–181. DOI: 10.1530/jrf.0.0500179.
44. Смекалова А. А., Митяшова О. С., Алейникова О. В., Монтвила Е. К., Лебедева И. Ю. Модулирующее действие соматотропного гормона на функциональное состояние культивируемых клеток из преовуляторных фолликулов кур // Генетика и разведение животных. 2021. № 4. С. 108–113. DOI: 10.31043/2410-2733-2021-4-108-113.
45. Silva J. F., Ocarino N. M., Serakides R. Thyroid hormones and female reproduction // Biology of Reproduction. 2018. Vol. 99, No. 5. Pp. 907–921. DOI: 10.1093/biolre/iou115.
46. Upadhyay G., Singh R., Kumar A., Kumar S., Kapoor A., Godbole M. M. Severe hyperthyroidism induces mitochondria-mediated apoptosis in rat liver // Hepatology. 2004. Vol. 39, No. 4. Pp. 1120–1130. DOI: 10.1002/hep.20085.
47. Canipari R., Mangialardo C., Di Paolo V., Alfei F., Ucci S., Russi V., Santaguida M. G., Virili C., Segni M., Misiti S., Centanni M., Verga Falzacappa C. Thyroid hormones act as mitogenic and pro survival factors in rat ovarian follicles // Journal of Endocrinological Investigation. 2019. Vol. 42, No. 3. Pp. 271–282. DOI: 10.1007/s40618-018-0912-2.
48. Huang Y., Li W., Xu D., Li B., Tian Y., Zan L. Effect of dietary selenium deficiency on the cell apoptosis and the level of thyroid hormones in chicken // Biological Trace Element Research. 2016. Vol. 171, No. 2. Pp. 445–452. DOI: 10.1007/s12011-015-0534-x.
49. Ghorbel M., Seugnet I., Ableitner A.M., Hassan A., Demeneix B. A. T3 treatment increases mitosis, then bax expression and apoptosis in the optic lobe of the chick embryo // Neuroscience Letters. 1997. Vol. 231, No. 3. Pp. 127–130. DOI: 10.1016/s0304-3940(97)00541-7.
50. Sahin K., Küçük O. A simple way to reduce heat stress in laying hens as judged by egg laying, body weight gain and biochemical parameters // Acta Veterinaria Hungarica. 2001. Vol. 49, No. 4. Pp. 421–430. DOI: 10.1556/004.49.2001.4.6.
51. Johnson A. L. Ovarian follicle selection and granulosa cell differentiation // Poultry Science. 2015. Vol. 94, No. 4. Pp. 781–785. DOI: 10.3382/ps/peu008.
52. Sundaresan N. R., Saxena V. K., Sastry K. V., Anish D., Saxena M., Nagarajan K., Ahmed K. A. Nitric oxide: a possible mediator of ovulation and postovulatory follicle regression in chicken // Animal Reproduction Science. 2007. Vol. 101, No. 3–4. Pp. 351–357. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2007.01.011.

#### Об авторах:

**Ирина Юрьевна Лебедева**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0002-7815-7900, AuthorID 92926. E-mail: irldev@mail.ru

**Ольга Сергеевна Митяшова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0002-0401-5088, AuthorID 697834. E-mail: mityashova\_o@mail.ru

**Елена Кястучо Монтвила**, младший научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0002-4341-2019, AuthorID 1046614. E-mail: montvila94@bk.ru

**Ольга Викторовна Алейникова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0000-0003-2583-0492, AuthorID 1046552. E-mail: 68ovk@mail.ru

**Араксия Ашотовна Смекалова**, младший научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, п. Дубровицы, Московская область, Россия; ORCID 0009-0005-4243-1719, AuthorID 859659. E-mail: araksia86@mail.ru

### References

1. Lebedeva I. Y., Lebedev V. A., Grossmann R., Parvizi N. Age-dependent role of steroids in the regulation of growth of the hen follicular wall. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2010; 8 (1): 15. DOI: 10.1186/1477-7827-8-15.
2. Liu X., Lin X., Mi Y., Li J., Zhang C. Grape seed proanthocyanidin extract prevents ovarian aging by inhibiting oxidative stress in the hens. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018; 2018: 9390810. DOI: 10.1155/2018/9390810.
3. Korver D. R. Review: Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare. *Animal*. 2023; 17 (2): 100755. DOI: 10.1016/j.animal.2023.100755.
4. Fisinin V. I., Konopleva A. P. About physiological and morphological processes in poultry at natural and induced molting. *Agricultural Biology*. 2015; 50 (6): 719–728. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.6.719rus. (In Russ.)
5. Eltahan H. M., Cho S., Rana M. M., Saleh A. A., Elkomy A. E., Wadaan M. A. M., Alagawany M., Kim I. H., Eltahan H. M. Dietary exogenous phytase improve egg quality, reproductive hormones, and prolongs the lifetime of the aging Hy-Line brown laying hens fed nonphytate phosphorus. *Poultry Science*. 2023; 102 (9): 102895. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102895.
6. Scanes C. G. Discontinuities in understanding follicular development, the ovulatory cycle and the oviposition cycles in the hen: advances, opportunities, slow downs and complete stops. *Frontiers in Physiology*. 2022; 13: 1023528. DOI: 10.3389/fphys.2022.1023528.
7. Navara K. J., Pinson S. E., Chary P., Taube P. C. Higher rates of internal ovulations occur in broiler breeder hens treated with testosterone. *Poultry Science*. 2015; 94 (6): 1346–1352. DOI: 10.3382/ps/pev103.
8. Tesarik J., Galán-Lázaro M., Mendoza-Tesarik R. Ovarian aging: molecular mechanisms and medical management. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22 (3): 1371. DOI: 10.3390/ijms22031371.
9. López-Otín C., Blasco M. A., Partridge L., Serrano M., Kroemer G. Hallmarks of aging: an expanding universe. *Cell*. 2023; 186 (2): 243–278. DOI: 10.1016/j.cell.2022.11.001.
10. Yan F., Zhao Q., Li Y., Zheng Z., Kong X., Shu C., Liu Y., Shi Y. The role of oxidative stress in ovarian aging: a review. *Journal of Ovarian Research*. 2022; 15 (1): 100. DOI: 10.1186/s13048-022-01032-x.
11. Chiang J. L., Shukla P., Pagidas K., Ahmed N. S., Karri S., Gunn D. D., Hurd W. W., Singh K. K. Mitochondria in ovarian aging and reproductive longevity. *Ageing Research Reviews*. 2020; 63: 101168. DOI: 10.1016/j.arr.2020.101168.
12. Bao S., Yin T., Liu S. Ovarian aging: energy metabolism of oocytes. *Journal of Ovarian Research*. 2024; 17 (1): 118. DOI: 10.1186/s13048-024-01427-y.
13. Zhu Z., Xu W., Liu L. Ovarian aging: mechanisms and intervention strategies. *Medical Review (2021)*. 2022; 2 (6): 590–610. DOI: 10.1515/mr-2022-0031.
14. Hao E. Y., Chen H., Wang D. H., Huang C. X., Tong Y. G., Chen Y. F., Zhou R. Y., Huang R. L. Melatonin regulates the ovarian function and enhances follicle growth in aging laying hens via activating the mammalian target of rapamycin pathway. *Poultry Science*. 2020; 99 (4): 2185–2195. DOI: 10.1016/j.psj.2019.11.040
15. Tatone C., Amicarelli F., Carbone M.C., Monteleone P., Caserta D., Marci R., Artini P. G., Piomboni P., Focarelli R. Cellular and molecular aspects of ovarian follicle ageing. *Human Reproduction Update*. 2008; 14 (2): 131–142. DOI: 10.1093/humupd/dmm048.
16. Camaioni A., Ucci M. A., Campagnolo L., De Felici M., Klinger F. G. The process of ovarian aging: it is not just about oocytes and granulosa cells. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*. 2022; 39 (4): 783–792. DOI: 10.1007/s10815-022-02478-0.
17. Du Y., Liu L., He Y., Dou T., Jia J., Ge C. Endocrine and genetic factors affecting egg laying performance in chickens: a review. *British Poultry Science*. 2020; 61 (5): 538–549. DOI: 10.1080/00071668.2020.1758299.
18. Colella M., Cuomo D., Peluso T., Falanga I., Mallardo M., De Felice M., Ambrosino C. Ovarian aging: role of pituitary-ovarian axis hormones and ncRNAs in regulating ovarian mitochondrial activity. *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. 2021; 12: 791071. DOI: 10.3389/fendo.2021.791071.



19. Ciccone N. A., Sharp P. J., Wilson P. W., Dunn I. C. Changes in reproductive neuroendocrine mRNAs with decreasing ovarian function in ageing hens. *General and Comparative Endocrinology*. 2005; 144 (1): 20–27. DOI: 10.1016/j.ygcen.2005.04.009.
20. Zhou S., Zhao A., Wu Y., Bao T., Mi Y., Zhang C. Protective effect of follicle-stimulating hormone on DNA damage of chicken follicular granulosa cells by inhibiting CHK2/p53. *Cells*. 2022; 11 (8): 1291. DOI: 10.3390/cells11081291.
21. Dong J., Guo C., Yang Z., Wu Y., Zhang C. Follicle-stimulating hormone alleviates ovarian aging by modulating mitophagy- and glycolysis-based energy metabolism in hens. *Cells*. 2022; 11 (20): 3270. DOI: 10.3390/cells11203270.
22. Zhan X. Z., Luo P., Zhang C., Zhang L. J., Shen X., Jiang D. L., Liu W. J. Age-related changes in the mitochondrial, synthesis of steroids, and cellular homeostasis of the chicken ovary. *Animal Reproduction Science*. 2024; 267: 107540. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2024.107540.
23. Brown E. D. L., Obeng-Gyasi B., Hall J. E., Shekhar S. The thyroid hormone axis and female reproduction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24 (12): 9815. DOI: 10.3390/ijms24129815.
24. McNabb F. M. The hypothalamic-pituitary-thyroid (HPT) axis in birds and its role in bird development and reproduction. *Critical Reviews in Toxicology*. 2007; 37 (1-2): 163–193. DOI: 10.1080/10408440601123552.
25. Sechman A. The role of thyroid hormones in regulation of chicken ovarian steroidogenesis. *General and Comparative Endocrinology*. 2013; 190: 68–75. DOI: 10.1016/j.ygcen.2013.04.012.
26. Brady K., Long J. A., Liu H. C., Porter T. E. Characterization of hypothalamo-pituitary-thyroid axis gene expression in the hypothalamus, pituitary gland, and ovarian follicles of turkey hens during the preovulatory surge and in hens with low and high egg production. *Poultry Science*. 2021; 100 (4): 100928. DOI: 10.1016/j.psj.2020.12.026.
27. Guh Y. J., Tamai T. K., Yoshimura T. The underlying mechanisms of vertebrate seasonal reproduction. *Proceedings of the Japan Academy. Series B: Physical and Biological Sciences*. 2019; 95 (7): 343–357. DOI: 10.2183/pjab.95.025.
28. Lebedeva I. Yu., Mityashova O. S., Smekalova A. A., Aleynikova O. V., Montvila E. K. The levels of pituitary-thyroid axis hormones and their relationship with ovarian hormones during the ovulatory cycle of young laying hens (*Gallus domesticus L.*). *Agricultural Biology*. 2024; 59 (6): 1169–1178. DOI: 10.15389/agrobiol.2024.6.1169eng.
29. Lebedeva I. Yu., Mityashova O. S., Smekalova A. A., Aleynikova O. V., Montvila E. K. The functional activity of cells from preovulatory follicles of hens (*Gallus domesticus L.*) under influence of triiodothyronine *in vitro*. *Agricultural Biology*. 2024; 59 (4): 749–758. DOI: 10.15389/agrobiol.2024.4.749eng.
30. Bao X., Song Y., Li T., Zhang S., Huang L., Zhang S., Cao J., Liu X., Zhang J. Comparative transcriptome profiling of ovary tissue between black muscovy duck and white muscovy duck with high- and low-egg production. *Genes (Basel)*. 2020; 12(1): 57. DOI: 10.3390/genes12010057.
31. Brady K., Liu H. C., Hicks J. A., Long J. A., Porter T. E. Transcriptome analysis during follicle development in turkey hens with low and high egg production. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12: 619196. DOI: 10.3389/fgene.2021.619196.
32. Colella M., Cuomo D., Giacco A., Mallardo M., De Felice M., Ambrosino C. Thyroid hormones and functional ovarian reserve: systemic vs. peripheral dysfunctions. *Journal of Clinical Medicine*. 2020; 9 (6): 1679. DOI: 10.3390/jcm9061679.
33. Da Costa V. M., Moreira D. G., Rosenthal D. Thyroid function and aging: gender-related differences. *Journal of Endocrinology*. 2001; 171 (1): 193–198. DOI: 10.1677/joe.0.1710193.
34. Jasim S., Gharib H. Thyroid and aging. *Endocrine Practice*. 2018; 24 (4): 369–374. DOI: 10.4158/EP171796.RA.
35. Silvestri E., Lombardi A., de Lange P., Schiavo L., Lanni A., Goglia F., Visser T. J., Moreno M. Age-related changes in renal and hepatic cellular mechanisms associated with variations in rat serum thyroid hormone levels. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2008; 294 (6): 1160–1168. DOI: 10.1152/ajpendo.00044.2008.
36. Lebedeva I. Yu., Mityashova O. S., Aleynikova O. V., Montvila E. K., Lakhonin P. D., Kolesnik N. S. Age-related changes in the blood levels of trace elements associated with the activity of the thyroid system in laying hens. *Zootechny*. 2024; 11: 27–30. DOI: 10.25708/ZT.2024.66.29.007. (In Russ.)
37. Lebedeva I. Yu., Mityashova O. S., Aleynikova O. V., Montvila E. K., Smekalova A. A. Age-related variability of sex and thyroid hormone levels in the blood of laying hens in connection with the intensity of reproductive aging. *Zootechny*. 2024; 12: 37–40. DOI: 10.25708/ZT.2024.63.68.010. (In Russ.)
38. Fu J., Fan Z., He L., Liu Q., Liu H., Li Y., Guan H. Circadian clock disruption in autoimmune thyroiditis. *European Thyroid Journal*. 2023; 12 (5): 230035. DOI: 10.1530/ETJ-23-0035.

39. Tower J. Programmed cell death in aging. *Ageing Research Reviews*. 2015; 23 (A): 90–100. DOI: 10.1016/j.arr.2015.04.002.
40. King L. E., Hohorst L., García-Sáez A. J. Expanding roles of BCL-2 proteins in apoptosis execution and beyond. *Journal of Cell Science*. 2023; 136 (22): jcs260790. DOI: 10.1242/jcs.260790.
41. Cheng B., Shi Y., Wu Q., Wang Y., Ma Y. Selenium protects follicular granulosa cells from apoptosis induced by mercury through inhibition of ATF6/CHOP pathway in laying hens. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201 (11): 5368–5378. DOI: 10.1007/s12011-023-03589-0.
42. Spitz A. Z., Gavathiotis E. Physiological and pharmacological modulation of BAX. *Trends in Pharmacological Sciences*. 2022; 43 (3): 206–220. DOI: 10.1016/j.tips.2021.11.001.
43. Gilbert A. B., Evans A. J., Perry M. M., Davidson M. H. A method for separating the granulosa cells, the basal lamina and the theca of the preovulatory ovarian follicle of the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Journal of Reproduction and Fertility*. 1977; 50 (1): 179–181. DOI: 10.1530/jrf.0.0500179.
44. Smekalova A. A., Mityashova O. S., Aleynikova O. V., Montvila E. K., Lebedeva I. Yu. Modulating effect of growth hormone on the functional state of cultured cells from hen preovulatory follicles. *Animal Genetics and Breeding*. 2021; 4: 108–113. DOI: 10.31043/2410-2733-2021-4-108-113. (In Russ.)
45. Silva J. F., Ocarino N. M., Serakides R. Thyroid hormones and female reproduction. *Biology of Reproduction*. 2018; 99 (5): 907–921. DOI: 10.1093/biolre/i0y115.
46. Upadhyay G., Singh R., Kumar A., Kumar S., Kapoor A., Godbole M. M. Severe hyperthyroidism induces mitochondria-mediated apoptosis in rat liver. *Hepatology*. 2004; 39 (4): 1120–1130. DOI: 10.1002/hep.20085.
47. Canipari R., Mangialardo C., Di Paolo V., Alfei F., Ucci S., Russi V., Santaguida M. G., Virili C., Segni M., Misiti S., Centanni M., Verga Falzacappa C. Thyroid hormones act as mitogenic and pro survival factors in rat ovarian follicles. *Journal of Endocrinological Investigation*. 2019; 42 (3): 271–282. DOI: 10.1007/s40618-018-0912-2.
48. Huang Y., Li W., Xu D., Li B., Tian Y., Zan L. Effect of dietary selenium deficiency on the cell apoptosis and the level of thyroid hormones in chicken. *Biological Trace Element Research*. 2016; 171 (2): 445–452. DOI: 10.1007/s12011-015-0534-x.
49. Ghorbel M., Seugnet I., Ableitner A.M., Hassan A., Demeneix B. A. T3 treatment increases mitosis, then bax expression and apoptosis in the optic lobe of the chick embryo. *Neuroscience Letters*. 1997; 231 (3): 127–130. DOI: 10.1016/s0304-3940(97)00541-7.
50. Sahin K., Küçük O. A simple way to reduce heat stress in laying hens as judged by egg laying, body weight gain and biochemical parameters. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2001; 49 (4): 421–430. DOI: 10.1556/004.49.2001.4.6.
51. Johnson A. L. Ovarian follicle selection and granulosa cell differentiation. *Poultry Science*. 2015; 94 (4): 781–785. DOI: 10.3382/ps/peu008.
52. Sundaresan N. R., Saxena V. K., Sastry K. V., Anish D., Saxena M., Nagarajan K., Ahmed K. A. Nitric oxide: a possible mediator of ovulation and postovulatory follicle regression in chicken. *Animal Reproduction Science*. 2007; 101 (3-4): 351–357. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2007.01.011.

#### Authors' information:

**Irina Yu. Lebedeva**, doctor of biological sciences, chief researcher, head of laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0000-0002-7815-7900, AuthorID 92926. *E-mail: irledv@mail.ru*

**Olga S. Mityashova**, candidate of biological sciences, senior researcher of laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0000-0002-0401-5088, AuthorID 697834. *E-mail: mityashova\_o@mail.ru*

**Elena K. Montvila**, junior researcher of laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0000-0002-4341-2019, AuthorID 1046614. *E-mail: montvila94@bk.ru*

**Olga V. Aleynikova**, candidate of biological sciences, researcher of laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0000-0003-2583-0492, AuthorID 1046552. *E-mail: 68ovk@mail.ru*

**Araksiya A. Smekalova**, junior researcher of laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0005-4243-1719, AuthorID 859659. *E-mail: araksia86@mail.ru*

## Исследование параметров мочи с помощью экспресс-методов в рамках скрининговой диагностики патологий органов пищеварения у крупного рогатого скота

М. Р. Цагарейшвили<sup>✉</sup>, И. И. Калюжный

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [marksagareishvili@gmail.com](mailto:marksagareishvili@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассматривается применение экспресс-методов анализа мочи в рамках скрининговой диагностики болезней незаразной этиологии крупного рогатого скота. Актуальность обусловлена интенсификацией животноводства и необходимостью оперативной оценки состояния здоровья животных поголовья. **Цель** исследования – анализ мочи крупного рогатого скота экспресс-методами и адаптация анализа мочи для диагностического протокола пищеварительных функций исследуемых животных. **Методы.** Исследование проводилось на 15 головах дойного поголовья симментальской породы с использованием диагностических тест-полосок для качественного и полуколичественного определения «Уривет-11». Разработана версия протокола скрининговой оценки органов пищеварения, включающая 60 пунктов, пригодная для хранения в электронном виде и программной обработки, включающая анализ мочи по 11 показателям (лейкоциты, кровь, кетоновые тела, белок, нитриты, билирубин, уробилиноген, глюкоза, pH, относительная плотность, аскорбиновая кислота). **Научная новизна** решения заключается в разработке подходов ранней диагностики заболеваний пищеварительного профиля у крупных животных, объединяющих физикальные методы исследования и экспресс-методы анализа биологических жидкостей. **Результаты.** Проведенные исследования показали, что у 8 из 15 животных выявлены отклонения от нормы по различным показателям, что в совокупности с данными клинического обследования, обладает большим диагностическим значением. Выявленные отклонения свидетельствует о необходимости регулярных скрининговых обследований для оперативной диагностики нарушений физиологического статуса. Использование тест-полосок позволяет проводить исследования непосредственно в животноводческом хозяйстве, что отвечает требованиям ранней диагностики. Методика формализации подхода к исследованию животных и фиксации результатов, в том числе в электронной форме, может быть использована для разработки других диагностических протоколов.

**Ключевые слова:** ветеринарная диагностика, незаразные болезни животных, скрининг, протокол диагностический, формализация, крупный рогатый скот, цифровые технологии

**Для цитирования:** Цагарейшвили М. Р., Калюжный И. И. Исследование параметров мочи с помощью экспресс-методов в рамках скрининговой диагностики поголовья крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 473–483. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-473-483>.

**Дата поступления статьи:** 05.01.2025, **дата рецензирования:** 04.02.2025, **дата принятия:** 20.02.2025

## Examination of urine parameters using express methods in the framework of screening diagnostics of digestive pathologies in cattle

M. R. Tsagareishvili<sup>✉</sup>, I. I. Kalyuzhnyy

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: marktsagareishvili@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the application of rapid urine analysis methods within the framework of screening diagnostics for non-contagious diseases of cattle. The relevance is due to the intensification of animal husbandry and the need for a rapid assessment of the health status of livestock. **The purpose** of the research is to analyze cattle urine using rapid methods and to adapt urine analysis for the diagnostic protocol of the digestive functions of the animals under study. **Methods.** The study was conducted on 15 heads of Simmental dairy cattle using diagnostic test strips for qualitative and semi-quantitative determination “Urivet-11”. A version of the screening assessment protocol for digestive organs, including 60 items, suitable for electronic storage and software processing, including urine analysis for 11 indicators (leukocytes, blood, ketone bodies, protein, nitrites, bilirubin, urobilinogen, glucose, pH, specific gravity, ascorbic acid) was developed. **The scientific novelty** of the solution lies in the development of approaches for early diagnosis of diseases of the digestive profile in large animals, combining physical examination methods and rapid methods of biological fluid analysis. **Results.** Studies have shown that 8 out of 15 animals showed deviations from the norm for various indicators, which, combined with clinical examination data, has great diagnostic value. The identified deviations indicate the need for regular screening examinations for rapid diagnosis of physiological status disorders. The use of test strips allows for research directly on the livestock farm, which meets the requirements of early diagnosis. The method of formalizing the approach to animal research and recording the results, including in electronic form, can be used to develop other diagnostic protocols.

**Keywords:** veterinary diagnostics, non-infectious animal disease, screening, diagnostic protocol, formalization, cattle, digital technologies

**For citation:** Tsagareishvili M. R., Kalyuzhnyy I. I. Examination of urine parameters using express methods in the framework of screening diagnostics of digestive pathologies in cattle *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 473–483. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-473-483>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 05.01.2025, **date of review:** 04.02.2025, **date of acceptance:** 20.02.2025

### Постановка проблемы (Introduction)

Современное развитие отрасли животноводства характеризуется значительной интенсификацией и увеличением численности поголовья, что затрудняет исследование всех содержащихся в хозяйстве животных [1; 2]. Поэтому в связи с переводом хозяйств на промышленную основу в соответствии с методическими указаниями по диспансеризации крупного рогатого скота в каждом хозяйстве создают группы животных, которые являются эталоном для оценки здоровья, в частности, определения состояния обмена веществ в организме животных в целом по стаду [3].

В данном свете особую актуальность представляют подходы экспресс-диагностики и маркерного скрининга, позволяющие собирать данные о состоянии животного за ограниченный срок. Скрининг – это предположительное выявление скрытой болезни или дефекта путем применения тестов, об-

следований и других процедур, которые могут быть проведены быстро [4; 5].

Моча сельскохозяйственных животных является важным диагностическим маркером, который используется для определения состояния здоровья организма. Так, для осуществления непрерывного состояния здоровья коровы предлагается использовать качественный анализ определенных компонентов в моче, например белка, глюкозы, ацетоновых тел и крови [6].

Исследование мочи может также включаться в методы контроля кормления высокопродуктивных коров. Изменение pH мочи в кислую сторону может свидетельствовать о длительном потреблении рационов с большим количеством концентрированных и кислых кормов, а также о нарушении минерального обмена. При кетозе количество кетоновых тел в моче может возрасти до 200–300 мг%. Избыток протеина в рационах влечет за собой увеличе-



ние содержания аммиака, мочевины и аминного азота в моче, а появление гистамина в моче служит диагностическим признаком избытка протеина в рационе, нарушения белкового обмена и поражения печени [7].

Показатели мочи отражают функциональное состояние гепаторенальной системы у коров и могут указывать на нарушение условий кормления и содержания. Так, для определения биохимического статуса коров Н. Б. Никулина, В. М. Аксенова использовали определение рН, плотности мочи и содержание в ней билирубина, уробилина, кетона, белка, нитритов, глюкозы. Определив у группы животных отклонения в виде извращения аппетита, нарушения процесса жвачки, гипотонии и атонии преджелудков, ослабления перистальтики кишечника, исследователи установили следующие отклонения в моче: плотность мочи – 1,004 г/см<sup>3</sup>; рН – 9,0; присутствие кетоновых тел (в среднем 20,1 мг/л), билирубина (в среднем 0,05 мг/мл), уробилина (в среднем 0,01 мг/мл) и белка в моче (в среднем до 56,7 мг/л), которые превышали границы физиологических норм; кровь, нитриты, глюкоза и лейкоциты отсутствовали [8].

Протеинурия – появление белка в моче – может возникать из-за развивающейся токсемии при скармливании кормов низкого качества. Помимо этого, у животных диагностируют общее снижение молочной продуктивности и аппетита, признаки метаболического ацидоза (рН мочи менее 7,0), повышение относительной плотности мочи вследствие развития олигурии, дегидратации, а также состояний, сопровождающихся диарейным синдромом [9]. Некоторые исследователи отмечают, что у высокопродуктивных коров (7–8 тыс. кг молока за лактацию) при клиническом и субклиническом кетозе наблюдается выраженная протеинурия, которая может возникать чаще, чем кетонурия: незначительная кетонурия наблюдалась у 40 % коров первой группы без клинических признаков кетоза и второй группы с клиническим и субклиническим проявлением кетоза. У 75 % коров второй группы при кетонии водородный показатель мочи был понижен (рН = 6,0...7,0). Протеинурию выявили у 40 % коров первой группы и 70 % коров второй группы [10].

Использование крови для оценки продуктивного здоровья высокопродуктивных коров уже используется в ветеринарной практике как подход биохимического скрининга, однако нарушение параметров мочи крупного рогатого скота также может указывать на нарушения в работе органов пищеварения и обмена веществ [11]. Поэтому физиологический мониторинг здоровья животных на основании анализа мочи обладает большой актуальностью. Однако из-за интенсификации технологических процессов

внутри животноводческих хозяйств содержится значительное количество животных, соответственно, данные о состоянии здоровья каждой головы составляют большой массив данных и сбор, хранение, а также аналитическую обработку такого объема информации эффективнее производить с использованием информационных технологий [12–14]. Подобное решение может быть реализовано в виде электронных версий диагностических протоколов, использующих экспресс-методы исследования показателей здоровья животных, поэтому требуется разработка новых подходов к диагностике, учитывающая данные требования [15].

Цель работы – исследование мочи крупного рогатого скота с помощью экспресс-методов и интегрирование анализа мочи для диагностического скрининга пищеварительных функций крупного рогатого скота.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

Методология разработки диагностического протокола оценки функций органов пищеварения основана на клинико-физиологическом подходе к обоснованию включаемых методов исследования и интерпретации полученных результатов. Методы исследования включали качественное и полуколичественное определение крови/гемоглобина, кетоновых тел, белка, нитритов, билирубина, уробилиногена, глюкозы, рН, относительной плотности, лейкоцитов и аскорбиновой кислоты в моче с помощью визуальных тест-полосок для животных «УриВет-11» производства ООО «Биосенсор АН», (Россия, 2024 год). Исследование включало анализ мочи 15 голов дойного поголовья симментальской породы крупного рогатого скота, разводимого в АО ПЗ «Мелиоратор» Аткарского района Саратовской области.

#### **Результаты (Results)**

Исследование животных проводилось в рамках разработки диагностического протокола оценки функций органов пищеварения крупного рогатого скота. Для формализации проводимых исследований была разработана версия протокола, которая подходит для хранения в электронном виде и пригодна для дальнейшей программной обработки (таблица 1).

Особенностью разработанного протокола оценки функций органов пищеварения является порядок ответов, который разработан с учётом удобства для заполнения формы ветеринарным врачом. Это значит, что порядок ответов в протоколе подчиняется правилу «1-норма» для удобства работы с электронной версией протокола оценки функций органов пищеварения – не разворачивая список результатов при исследовании, можно проверить, что выставлена физиологическая норма, если она регистрируется.

Таблица 1

Фрагмент разработанного протокола оценки функций органов пищеварения крупного рогатого скота и варианты результатов исследования

Биология и биотехнологии

№	Оцениваемый маркер	Варианты результатов оценки
<b>1. Оценка общего состояния</b>		
1	Упитанность	1 – упитанность средняя и ниже средней (1,5–3,5 балла); 2 – упитанность высшая (4 балла и более); 3 – тощая (1,0–1,4 балла); 4 – истощение/кахексия (менее 1 балла)
2	Способность к движению (положение тела в пространстве)	1 – животное двигается свободно; 2 – шаткая походка; 3 – хромота; 4 – вынужденное стоячее; 5 – вынужденное лежачее; 6 – вынужденные движения
3	Состояние тонуса мышц	1 – нормальное; 2 – слабость; 3 – мышечная дрожь; 4 – судороги
4	Реакция на раздражители	1 – нормальная реакция на окружающие раздражители; 2 – сонливость; 3 – угнетение; 4 – коматозное состояние; 5 – повышенная возбудимость
5	Волосистой покров	1 – гладкий, блестящий, плотно прилегает к коже и направлен преимущественно в одну сторону; 2 – взъерошенный и/или тусклый; 3 – волосистой покров неравномерный, с очагами алопеции; 4 – загрязнен
6	Кожа	1 – без повреждений; 2 – ссадины, раневая травматизация; 3 – кожные сыпи; 4 – язвы, пролежни; 5 – другие повреждения/изменения
7	Эластичность кожи	1 – хорошая, складка расправляется без задержки; 2 – умеренно снижена, кожа расправляется с задержкой более 10 с; 3 – резко снижена
8	Лимфатические узлы подчелюстные и околоушные	1 – не увеличены, гладкие, подвижные, безболезненные, с нормальной температурой покрывающей их кожи; 2 – увеличены или патологически изменены
9	Лимфатические узлы туловища (предлопаточные, коленной складки, надвыменные узлы)	1 – не увеличены, гладкие, подвижные, безболезненные, с нормальной температурой покрывающей их кожи; 2 – увеличены или патологически изменены
10	Температура тела, °С	1 – 37,5–39,5; 2 – более 39,5; 3 – менее 37,5
11	Пульс, уд/мин	1 – 50–80 (норма); 2 – более 80 (учащен); 3 – менее 50 (снижен)
12	Количество дыхательных движений в минуту	1 – 12–25 (норма); 2 – более 25 (учащено); 3 – менее 12 (снижено)
<b>2. Исследование ротовой полости и пищевода</b>		
13	Приём корма и питья, аппетит	1 – в норме; 2 – легкая степень расстройства жевания, вялое жевание; 3 – затрудненное или болезненное жевание, затрудненное или болезненное глотание; 4 – отсутствие приема корма и питья; 5 – слюнотечение; 6 – извращение аппетита; 7 – повышение аппетита

14	Запах из ротовой полости	1 – свойственный животному; 2 – неприятный; 3 – кислый; 4 – гнилостный; 5 – зловонный; 6 – ацетона
15	Слизистая ротовой полости и десен	1 – бледно-розового цвета, не воспалена; 2 – патологически изменена (гиперемия/узелки/пузырьки/эрозии/язвы/раны и т. п.); 3 – желтушность; 4 – побледнение; 5 – геморрагические явления; 6 – синюшность
16	Язык	1 – без повреждений; 2 – серо-белый налет; 3 – механические повреждения; 4 – патологические изменения (эрозии, язвы, 5 – новообразования
17	Глотка и шейная часть пищевода	1 – при пальпации ощущается как тонкая прослойка тканей, безболезненна; 2 – пальпация вызывает болевые ощущения/ кашель/ пустые глотательные движения и, или инфильтрация (опухлость) тканей; 3 – другие изменения (уплотнения, скопление кормовых масс и т. п.)
18	Параметр pH слюны	1 – 8,0–8,5 (нормальный); 2 – 7,9 и меньше (отклонение в кислую сторону); 3 – 8,6 и больше (отклонение в щелочную сторону)
Исследования № 19–47 в рамках разделов: 3. Исследование живота, преджелудков, сычуга и печени. 4. Исследование кишечника и дефекации. 5. Исследование фекалий		
<b>6. Исследование мочи с помощью тест-полосок</b>		
48	Лейкоциты, лейкоцитов/мкл	1 – не определяется (менее 15); 2 – 15; 3 – 70,0; 4 – 125; 5 – $\geq 500,0$
49	Кровь/гемоглобин, эри/мкл	1 – не определяется (менее 10); 2 – 10; 3 – 25; 4 – 50; 5 – $\geq 250$
50	Кетоновые тела, ммоль/л	1 – не определяется (менее 0,5); 2 – 0,5; 3 – 1,5; 4 – 4,0; 5 – 8,0; 6 – $\geq 16,0$
51	Белок, г/л	1 – не определяется (менее 0,1); 2 – 0,1; 3 – 0,3; 4 – 1,0; 5 – 3,0; 6 – $\geq 10,0$
52	Нитриты, мг/дл	1 – не определяется; 2 – определяется (существенная бактериурия, 0,1–0,3)
53	Билирубин, ммоль/л	1 – не определяется (менее 9,0); 2 – 9,0; 3 – 17,0; 4 – $\geq 50,0$
54	Уробилиноген, мкмоль/л	1 – 3,5; 2 – 17,5; 3 – 35; 4 – 70,0; 5 – 140,0; 6 – $\geq 210,0$

55	Глюкоза, ммоль/л	1 – не определяется (менее 2,8); 2 – 5,6; 3 – 14,0; 4 – 28,0; 5 – $\geq 56,0$
56	Мочи pH	1 – 6,0–7,0; 2 – 7,5–8,0; 3 – 8,5–9,0; 4 – 9,5 и более; 5 – 5,5 и менее
57	Относительная плотность	1 – 1,015–1,030 и более; 2 – 1,010–1,000; 3 – менее 1,000
58	Аскорбиновая кислота	1 – не определяется (менее 10,0 мг/дл); 2 – 10,0 мг/дл; 3 – 20,0; 4 $\geq 40,0$ мг/дл

Table 1  
A fragment of the developed protocol for assessing the functions of the digestive organs of cattle and variants of the study results

No.	Evaluated marker	Options for evaluation results
<b>1. Assessment of general condition</b>		
1	Body condition	1 – average and below average (1.5–3.5 points); 2 – very high (4 points and more); 3 – thin (1.0–1.4 points); 4 – emaciation/cachexia (less than 1 point)
2	Ability to move (body position in space)	1 – animal moves freely; 2 – unsteady gait; 3 – lameness; 4 – forced standing; 5 – forced lying; 6 – forced movements
3	Muscle tone	1 – normal; 2 – weakness; 3 – muscle tremors; 4 – seizures
4	Reaction to stimuli	1 – normal reaction to surrounding stimuli; 2 – drowsiness; 3 – depression; 4 – comatose state; 5 – increased excitability
5	Hair coat	1 – smooth, shiny, tightly adheres to the skin and directed predominantly in one direction; 2 – ruffled and/or dull; 3 – uneven hair coat, with areas of alopecia; 4 – dirty
6	Skin	1 – without damage; 2 – abrasions, wound traumatization; 3 – skin rashes; 4 – ulcers, bedsores; 5 – other damage/changes.
7	Skin elasticity	1 – good, fold straightens out without delay; 2 – moderately reduced, skin straightens out with a delay of more than 10 seconds; 3 – sharply reduced
8	Submandibular and parotid lymph nodes	1 – not enlarged, smooth, mobile, painless, with normal temperature of the skin covering them; 2 – enlarged or pathologically altered
9	Lymph nodes of the torso (prescapular, knee fold, supramammary nodes)	1 – not enlarged, smooth, mobile, painless, with normal temperature of the skin covering them; 2 – enlarged or pathologically altered
10	Body temperature, °C	1 – 37.5–39.5; 2 – more than 39.5; 3 – less than 37.5



11	Pulse, beats per minute	1 – 50–80 (normal); 2 – more than 80 (rapid); 3 – less than 50 (slowed)
12	Respiratory rate per minute	1 – 12–25 (normal); 2 – more than 25 (rapid); 3 – less than 12 (slowed)
<b>2. Examination of the oral cavity and esophagus</b>		
13	Feed and Water Intake, Appetite	1 – normal; 2 – mild chewing disorder, slow chewing; 3 – difficult or painful chewing, difficult or painful swallowing; 4 – absence of feed and water intake; 5 – salivation; 6 – perverted appetite; 7 – increased appetite
14	Oral Cavity Odor	1 – typical for the animal 2 – unpleasant 3 – acidic 4 – putrid 5 – fetid 6 – acetone
15	Mucous membrane of the oral cavity and gums	1 – pale pink in color, not inflamed; 2 – pathologically altered (hyperemia/nodules/vesicles/erosions/ulcers/wounds, etc.); 3 – jaundice; 4 – pallor; 5 – hemorrhagic phenomena; 6 – cyanosis
16	Tongue	1 – without damage; 2 – gray–white coating; 3 – mechanical damage; 4 – pathological changes (erosions, ulcers); 5 – neoplasms
17	Pharynx and Cervical Esophagus	1 – palpation reveals a thin layer of tissue, painless; 2 – palpation elicits pain / coughing / empty swallowing motions and/or tissue infiltration (swelling); 3 – other changes (induration, accumulation of feed masses, etc.)
18	Saliva pH Parameter	1 – 8.0–8.5 (normal); 2 – 7.9 or less (deviation towards acidic); 3 – 8.6 or greater (deviation towards alkaline)
Studies No. 19–47 within the following sections: 3. Examination of the abdomen, forestomachs, abomasum, and liver. 4. Examination of the intestines and defecation. 5. Examination of feces		
<b>6. Urinalysis using test strips</b>		
48	Leukocytes, leukocytes/ $\mu$ L	1 – not detected (less than 15); 2 – 15; 3 – 70.0; 4 – 125; 5 – $\geq 500.0$
49	Blood/hemoglobin, Ery/ $\mu$ L	1 – not detected (less than 10); 2 – 10; 3 – 25; 4 – 50; 5 – $\geq 250$
50	Ketone bodies, mmol/L	1 – not detected (less than 0.5); 2 – 0.5; 3 – 1.5; 4 – 4.0; 5 – 8.0; 6 – $\geq 16.0$
51	Protein, g/L	1 – not detected (less than 0.1); 2 – 0.1; 3 – 0.3; 4 – 1.0; 5 – 3.0; 6 – $\geq 10.0$

52	Nitrites, mg/dL	1 – not detected; 2 – detected (significant bacteriuria, 0.1–0.3)
53	Bilirubin, $\mu\text{mol/L}$	1 – not detected (less than 9.0); 2 – 9.0; 3 – 17.0; 4 – $\geq 50.0$
54	Urobilinogen, $\mu\text{mol/L}$	1 – 3.5; 2 – 17.5; 3 – 35; 4 – 70.0; 5 – 140.0; 6 – $\geq 210.0$
55	Glucose, mmol/L	1 – not detected (less than 2.8); 2 – 5.6; 3 – 14.0; 4 – 28.0; 5 – $\geq 56.0$
56	Urine pH	1 – 6.0–7.0; 2 – 7.5–8.0; 3 – 8.5–9.0; 4 – 9.5 or more; 5 – 5.5 or less
57	Relative density	1 – 1.015–1.030 and more; 2 – 1.010–1.000; 3 – less than 1.000
58	Ascorbic acid	1 – not detected (less than 10.0 mg/dL); 2 – 10.0 mg/dL; 3 – 20.0; 4 – $\geq 40.0$ mg/dL

Таблица 2

Результаты анализа мочи у исследуемой группы КРС по разработанному протоколу

Показатели	Вариант исследований															Норма
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Лейкоциты	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
Кровь/гемоглобин	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1
Кетоновые тела	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	3	4	1	1	1
Белок	2	1	1	1	3	1	1	2	1	3	1	3	2	1	1	1
Нитриты	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Билирубин	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	3	1	1	1
Уробилиноген	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	2	1	1	1
Глюкоза	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Мочи pH	2	1	1	1	4	1	4	1	1	1	1	1	4	1	3	1
Относительная плотность	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	1	1	3	1	1	1
Аскорбиновая кислота	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 2

Results of urinalysis in the studied group of cattle according to the developed protocol

Indicators	Variant of studies															Normal value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Leukocytes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
Blood/hemoglobin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1
Ketone bodies	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	3	4	1	1	1
Protein	2	1	1	1	3	1	1	2	1	3	1	3	2	1	1	1
Nitrites	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bilirubin	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	3	1	1	1
Urobilinogen	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	2	1	1	1
Glucose	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Urine pH	2	1	1	1	4	1	4	1	1	1	1	1	4	1	3	1
Relative density	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	1	1	3	1	1	1
Ascorbic acid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

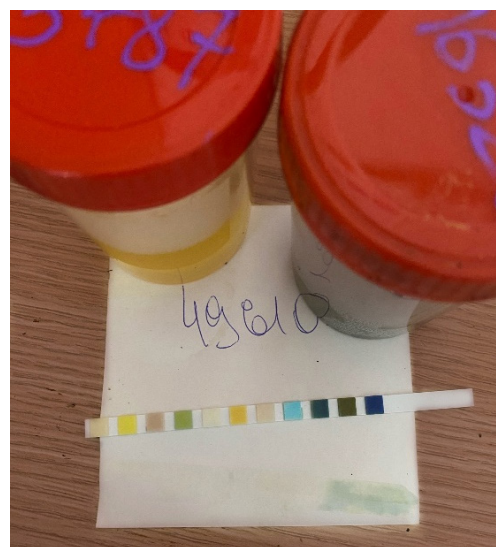
a)  
a)b)  
b)

Рис. 1. Оценка показателей мочи:

- a) исследование непосредственно в помещении, где содержатся животные;  
b) исследование собранной мочи в ветеринарном кабинете в хозяйстве

Fig. 1. Evaluation of urine parameters:

- a) examination directly in the room where the animals are kept;  
b) examination of collected urine in the veterinary office on the farm

Проведён анализ мочи группы животных по разработанному протоколу, результаты представлены в таблице 2. Всего обнаружено 8 животных из 15 исследуемых с отклоняющимися показателями (53,3 % от общего числа исследуемых животных), что говорит о необходимости регулярного обследования поголовья скрининговыми методами, позволяющими быстро и эффективно диагностировать отклонения в физиологическом статусе организма.

Особенно удобно исследование мочи с помощью тест-полосок, так как позволяет исследовать мочу животных в «полевых условиях» (рис. 1). Далее выявленных животных необходимо включать в группу для дообследования с целью уточнения причин отклонений и их клинической интерпретации.

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

В результате проведенной работы в разрабатываемый диагностический протокол интегрировано исследование мочи – методика формализации такого рода подхода к исследованию животных и фиксации результатов обследования, в том числе в электронной форме, может быть использована в рамках разработки различных диагностических протоколов. Отдельно стоит отметить, что для удобства

заполняемой формы электронной версии протокола было выбрано решение выстраивать ответы на протокол таким образом, чтобы значение единицы отражало вариант физиологической нормы для исследуемого животного – в данном случае коров. Таким образом, повышается читаемость заполненного протокола (видно, в каких показателях отклонения) и при работе с электронной версией использована функция автозаполнения варианта с нормой по умолчанию с целью оптимизации временных затрат ветеринарного специалиста на работу с данной формой. На основании проведенных исследований можно отметить, что массовые и быстрые исследования животных в животноводческих хозяйствах необходимо осуществлять в рамках проведения физиологического мониторинга с целью обнаружения отклонений в показателях здоровья. В совокупности с собираемыми данными клинического обследования животных по различным диагностическим протоколам, в том числе по разработанному нами, данный вид исследований может представлять значительную ценность в рамках ранней диагностики заболеваний незаразной этиологии.

#### Библиографический список

1. Marino R., Petrera F., Abeni F. Scientific productions on precision livestock farming: an overview of the evolution and current state of research based on a bibliometric analysis // *Animals*. 2023. Vol. 13, No. 14. DOI: 10.3390/ani13142280.
2. Агаева Д. Б. Интенсификация производства продукции скотоводства // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012. № 6 (92). С. 103–106.

3. Яшин А. В., Прусаков А. В., Калюжный И. И. [и др.] Незаразная патология крупного рогатого скота в хозяйствах с промышленной технологией: учебное пособие для СПО / Под ред. А. В. Яшина. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 288 с.
4. Драпкина О. М., Самородская И. В. Скрининг: терминология, принципы и международный опыт // Профилактическая медицина. 2019. № 22 (1). С. 90–97. DOI: 10.17116/profmed20192201190.
5. Perera T. R. W., Skerrett-Byrne D. A., Gibb Z., Nixon B., Swegen A. The future of biomarkers in veterinary medicine: emerging approaches and associated challenges // *Animals*. 2022. Vol. 12, No. 17. DOI: 10.3390/ani12172194.
6. Виноградова Н. М., Автаева Т., Здюмаева Н. П. Паспорт здоровья коровы // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сборник статей молодых ученых. Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. С. 77–85.
7. Романенко Л. В., Волгин В. И., Прохоренко П. Н., Федорова Л. Методы контроля кормления коров с высокой продуктивностью адаптивными рационами // Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 1. С. 23–27.
8. Никулина Н. Б., Аксенова В. М. Функциональное состояние гепаторенальной системы у коров при нарушении кормления и содержания // Современные аспекты ветеринарии и зоотехнии. Творческое наследие В. К. Бириха (к 115-летию со дня рождения): материалы Всероссийской научно-практической конференции. Пермь, 2018. С. 96–99.
9. Белоусов А. И., Красноперов А. С., Порываева А. П. Метаболические признаки токсемии у высокопродуктивных коров при скармливании кормов низкого качества // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2017. № 3. С. 98–101.
10. Вовкотруб Н. В., Чуб О. В. Экспрес-скрининг углеводно-липидного статусу в корів за різної продуктивності // Науковий вісник ветеринарної медицини. 2014. № 14 (114). С. 32–36.
11. Белоусов А. И., Соколова О. В., Беспмятных Е. Н. Применение биохимического скрининга при оценке продуктивного здоровья высокопродуктивных коров в Свердловской области // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2018. № 4. С. 278–280.
12. Гринченков Д. В., Романенко И. В. Анализ подходов к реализации систем поддержки принятия решений на животноводческих предприятиях и их особенности // Научная школа «Зеленое будущее» для молодых ученых, аспирантов и студентов: тезисы докладов Научной школы. Новочеркасск, 2023. С. 206–210.
13. Белая Ю. В. Использование информационных технологий в ветеринарии // В мире научных открытий: материалы II Международной студенческой научной конференции. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2018. Том V. Часть 1. С. 100–103.
14. Болодурина И. П., Соловьев С. А., Акимов С. С. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 2. С. 36–44. DOI: 10.14529/ctcr200204.
15. Лукьянов П. Б. Диагностика болезней сельскохозяйственных животных в экспертных системах «КОРАЛЛ» // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Новосибирск – Краснообск, 2021. С. 80–84. DOI: 10.26898/agroinfo-2021-80-84.

#### Об авторах:

**Марк Робертович Цагареншвили**, аспирант, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0009-0004-3916-7219, AuthorID 1196767. E-mail: marktsagareishvili@gmail.com

**Иван Исаевич Калюжный**, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры «Болезни животных и ветеринарно-санитарная экспертиза», Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0002-3729-0027, AuthorID 673009. E-mail: kalugnivan@mail.ru

#### References

1. Marino R., Petrera F., Abeni F. Scientific productions on precision livestock farming: an overview of the evolution and current state of research based on a bibliometric analysis. *Animals*. 2023; 13 (14). DOI: 10.3390/ani13142280. (In Eng.)
2. Agaeva D. B. Intensification of livestock production. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012; 6 (92): 103–106. (In Russ.)



3. Yashin A. V., Prusakov A. V., Kalyuzhnyy I. I., et al. *Non-contagious pathology of cattle in farms with industrial technology: textbook for secondary vocational education*. Saint Petersburg: Lan', 2021. 288 p. (In Russ.)
4. Drapkina O. M., Samorodskaya I. V. Screening: terminology, principles and international experience. *Preventive Medicine*. 2019; 22 (1): 90–97. DOI: 10.17116/profmed20192201190. (In Russ.)
5. Perera T. R. W., Skerrett-Byrne D. A., Gibb Z., Nixon B., Swegen A. The Future of Biomarkers in Veterinary Medicine: Emerging Approaches and Associated Challenges. *Animals*. 2022; 12 (17). DOI: 10.3390/ani12172194. (In Eng.)
6. Vinogradova N. M., Avtaeva T., Zdyumaeva N. P. Cow health passport. Current issues in the development of science and technology: a collection of articles by young scientists. Karavaevo: Kostroma State Agricultural Academy, 2023. Pp. 77–85. (In Russ.)
7. Romanenko L. V., Volgin V. I., Prokhorenko P. N., Fedorova L. Methods of controls of high-productive cows' feeding by adaptive rations. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2017; 1: 23–27. (In Russ.)
8. Nikulina N. B., Aksenova V. M. Functional state of the hepatorenal system in cows with impaired feeding and maintenance. Modern aspects of veterinary science and zootechnics. *Creative heritage of V. K. Birikh (on the 115th anniversary of his birth): materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Perm': IPTs Prokrost', 2018. Pp. 96–99. (In Russ.)
9. Belousov A. I., Krasnoperov A. S., Poryvaeva A. P. Metabolic signs of toxemia in highly productive cows when feeding low-quality feed. *Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2017; 3: 98–101. (In Russ.)
10. Vovkotrub N. V., Chub O. V. Express screening of carbohydrate-lipid effects in cows with different productivity. *Scientific Journal of Veterinary Medicine*. 2014; 14 (114): 32–36. (In Ukrain.)
11. Belousov A. I., Sokolova O. V., Bespamyatnykh Ye. N. The use of biochemical screening in assessing the productive health of highly productive cows in the Sverdlovsk region. *Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2018; 4: 278–280. (In Russ.)
12. Grinchenkov D. V., Romanenko I. V. Analysis of approaches to the implementation of decision support systems in livestock enterprises and their features. *Scientific school "Green Future" for young scientists, postgraduates and students: abstracts of the reports of the Scientific school*. Novocherkassk, 2023. Pp. 206–210. (In Russ.)
13. Belaya Yu. V. The use of information technology in veterinary medicine. *In the World of Scientific Discoveries: proceedings of the ii international student scientific conference*. Ulyanovsk, 2018. Pp. 100–103. (In Russ.)
14. Bolodurina I. P., Solov'yev S. A., Akimov S. S. Development of a decision making support system to increase the productivity of dairy animal breeding. *Bulletin of the South Ural State University. Series Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2020; 20 (2): 36–44. DOI: 10.14529/ctcr200204. (In Russ.)
15. Luk'yanov P. B. Diagnostics of diseases of farm animals in expert systems "CORAL". Information technologies, systems and devices in the agro-industrial complex. *AGROINFO-2021: materials of the 8th International scientific and practical conference*. Novosibirsk – Krasnoobsk, 2021. Pp. 80–84. DOI: 10.26898/agroinfo-2021-80-84. (In Russ.)

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

**Mark R. Tsagareishvili**, postgraduate, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia; ORCID 0009-0004-3916-7219, AuthorID 1196767.

*E-mail: marktsagareishvili@gmail.com*

**Ivan I. Kalyuzhnyy**, doctor of veterinary sciences, professor of the department "Animal diseases and veterinary sanitary expertise", Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia; ORCID 0000-0002-3729-0027, AuthorID 673009. *E-mail: kalugnivan@mail.ru*

## Концепция развития народных предприятий в АПК

А. А. Астра<sup>1</sup>✉, А. Т. Стадник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

✉ E-mail: kristimof@yandex.ru

**Аннотация.** Целью работы является определение концептуальных основ деятельности народных предприятий в агропромышленном комплексе, сформированных на основании регулирующих правовых документов и построение системной модели народного предприятия, определение сильных и слабых сторон развития данной организационной формы в отрасли. **Методы.** Исследование проводилось с использованием научных методов: экономического анализа, в частности, экономико-статистических методов сбора и обработки информации, метода сравнительного анализа, особое внимание уделено методу swot-анализа и системному подходу. **Результаты.** Разработана системная модель и концепция развития народных предприятий в отечественном агропромышленном комплексе. Определены внешние факторы, предопределяющие положительные прогнозы от тиражирования и развития народных предприятий в отрасли. Также определены цели и задачи их создания и развития, предусматривающие решение наиболее острых проблем сельскохозяйственной отрасли и агропромышленного комплекса в целом, такие как сохранение и развитие человеческого капитала, повышение мотивированности сотрудников и их вовлеченности в деятельность предприятий как инструмента повышения производительности труда. **Научная новизна.** В концепции определены принципы деятельности народных предприятий, такие как принципы равноправия, справедливости и тождественности участия в трудовом процессе и капитале. Отличительной особенностью инструментов, необходимых для реализации принципов народных предприятий является их предопределенность правовыми основами деятельности, регулируемым действующим законом. Организационно-правовая форма народных предприятий может быть эффективной в кризисных ситуациях для бизнеса, таких как: угроза банкротства, продажа собственником бизнеса, а также как инновационный инструмент для повышения эффективности основного процесса.

**Ключевые слова:** концепция развития, народные предприятия, системная модель, анализ факторов развития, преимущества и недостатки народных предприятий

**Для цитирования:** Астра А. А., Стадник А. Т. Концепция развития народных предприятий в АПК // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 484–495. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-484-495>.

**Дата поступления статьи:** 09.01.2025, **дата рецензирования:** 02.02.2025, **дата принятия:** 27.02.2025.

## Concept for the development of people's enterprises in the agro-industrial complex

A. A. Astra<sup>1</sup>✉, A. T. Stadnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

✉ E-mail: kristimof@yandex.ru

**Abstract.** The purpose of the work is to determine the conceptual foundations of the activities of people's enterprises in the agro-industrial complex, formed on the basis of regulatory legal documents and building a system model of people's enterprise, identifying the strengths and weaknesses of the development of this companies form in the industry. **Methods.** The research was conducted using scientific methods: economic analysis, in particular,

economic and statistical methods of collecting and processing information, method of comparative analysis, special attention was paid to the method of swot-analysis and system approach. **Results.** The system model and the concept of development of people's enterprises in the domestic agro-industrial complex have been developed. The external factors predetermining positive forecasts from replication and development of people's enterprises in the industry are determined. The goals and objectives of their creation and development are also defined, providing for the solution of the most acute problems of the agricultural industry and agro-industrial complex as a whole, such as the preservation and development of human capital, increasing the motivation of employees and their involvement in the activities of enterprises as a tool for increasing productivity. **Scientific novelty.** The concept defines the principles of people's enterprises, such as the principles of equality, fairness and identity of participation in the labor process and capital. The distinctive feature of the tools necessary for the implementation of the principles of people's enterprises is their predetermination by the legal basis of activity regulated by the current law. The organisational and legal form of people's enterprises can be effective in crisis situations for business, such as: the threat of bankruptcy, sale by the owner of the business, as well as an innovative tool to improve the efficiency of the basic process.

**Keywords:** development concept, people's enterprises, system model, analysis of development factors, advantages and disadvantages of people's enterprises

**For citation:** Astra A. A., Stadnik A. T. Concept for the development of people's enterprises in the agro-industrial complex. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 484–495. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-484-495>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 09.01.2025, **date of review:** 02.02.2025, **date of acceptance:** 27.02.2025.

#### Постановка проблемы (Introduction)

Тема экономической эффективности и целесообразности развития в отечественной экономике предприятий, владельцами которых являются трудовые коллективы, с 1991 года возникает, обсуждается, вызывает острые дискуссии противников и сторонников, а затем интерес к ней пропадает в силу быстрого темпа экономических и политических изменений. В российском законодательстве, помимо производственных кооперативов к предприятиям, в управление которыми активно вовлечены трудовые коллективы, относятся закрытые акционерные общества работников (народные предприятия). В настоящее время под действием ряда факторов интерес к данной теме возобновился. Однако говорить о массовом их создании и развитии не приходится. Более того, число народных предприятий в экономике сокращается под действием различного рода барьеров. Но те из них, что продолжают свою деятельность, успешно развиваются, на что указывают значения многих показателей их деятельности – выше среднеотраслевых. Большинство народных предприятий в настоящее время относятся к промышленным, хотя в сфере сельского хозяйства их развитие позволило бы использовать преимущества и сильные стороны, включая исторический опыт. Интервью Сергея Юрьевича Глазьева, предложившего в 2022 году рассмотреть в качестве одного из механизмов сохранения коллективов и бизнеса уходящие из России иностранные компаний, их акционирование трудовым коллективом, вновь оживило интерес к такой организационно-

правовой форме, как закрытое акционерное общество работников (народное предприятие). Свое предложение С. Ю. Глазьев аргументировал следующим тезисом: «Я бы передавал такие предприятия трудовым коллективам. Больше них никто не заинтересован в сохранении рабочих мест. А ведь это главный критерий, который предлагают ввести как обязательство для тех, кто претендует на управление бросаемыми предприятиями» [1]. Разумное использование принципов и инструментов народных предприятий в АПК является одним из возможных путей и новым взглядом на решение актуальных задач отрасли.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Системная модель народного предприятия, составлена на основе McKinsey 7S Framework, в которой в качестве базовой объединяющей ценности рассматривается отсутствие всех четырех видов отчуждений вследствие артельной собственности на результаты присвоения. На основании законодательно определенных признаков народного предприятия был проведен SWOT-анализ концепции народного предприятия для оценки перспектив их развития в сельскохозяйственной отрасли. Для обеспечения системного подхода к выявлению сильных и слабых сторон, возможностей и угроз для развития народных предприятий в АПК были условно выделены три группы факторов: правовые, экономические и социально-психологические. Для оценки эффективности деятельности народных предприятий в АПК применялись методы коэффициентного анализа.



Рис. 1. Системная модель народного предприятия на базе модели McKinsey 7S Framework

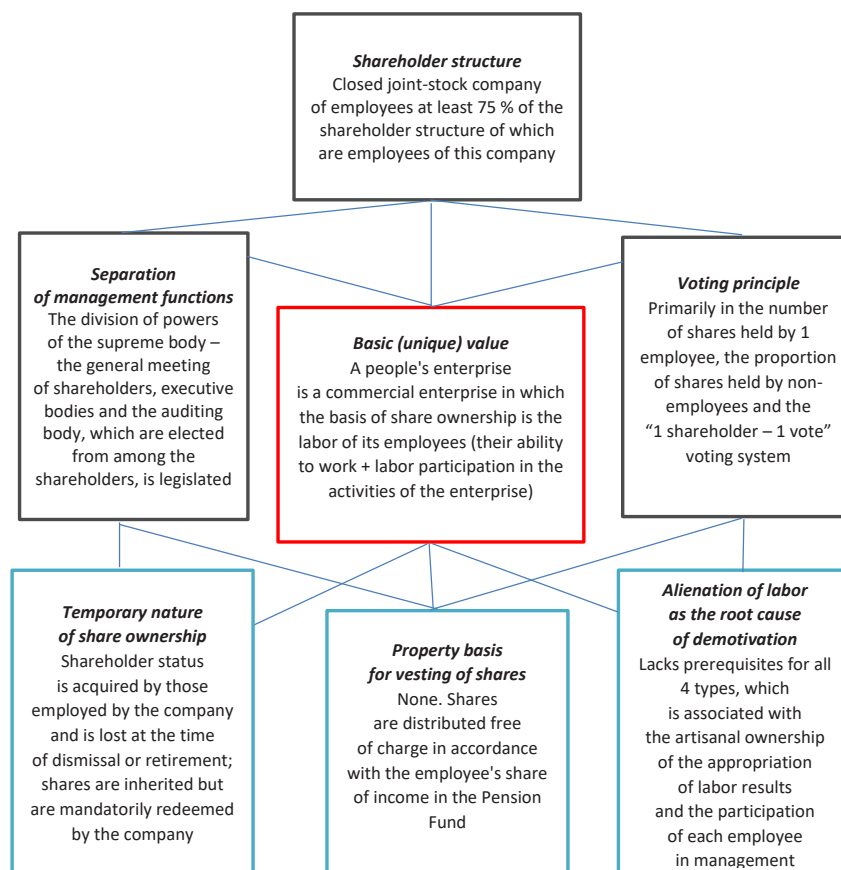


Fig. 1. System model of the people's enterprise on the basis of the model McKinsey 7S Framework



### Результаты (Results)

Для определения ключевых особенностей народных предприятий на основании положений Федерального закона от 19.07.1998 г. № 115-ФЗ «Об особенностях правового положения акционерных обществ работников (народных предприятий)» [2] составлена модель предприятия (рис. 1).

В качестве базовой объединяющей ценности в народных предприятиях будем рассматривать принадлежность акций сотрудникам, что оказывает значительное влияние на характер корпоративной культуры и собственно деятельность предприятия. Организационно-правовой механизм народных предприятий строится вокруг природы акционерной собственности: не менее 90 % его сотрудников должно быть акционерами, право на владение акциями которым дает не имущественный взнос, а трудовая функция и участие в процессе создания ценности, что обуславливает прекращение этого права в момент увольнения сотрудника или его ухода на пенсию.

В качестве «жестких» элементов системной модели народного предприятия можно определить структуру органов управления обществом, порядок их избрания и сроки полномочий; принцип голосования «один акционер – один голос», закрепленный законодательно по большинству вопросов, регулирующих деятельность предприятий, а также ограничение в 75 % минимальной доли сотрудников в числе акционеров.

К мягким элементам могут быть отнесены бесплатное распределение акций среди сотрудников; отсутствие у сотрудников всех четырех форм отчуждения как корневой причины низкой мотивации кадров и проблем с ростом производительности труда; временный характер владения акциями, т. е. наследники, согласно закону, обязаны продать, а народное предприятие обязано выкупить акции по выкупной стоимости.

Предлагаемая системная модель позволяет сформировать концепцию народных предприятий в АПК (рис. 2) как систему основополагающих принципов их функционирования, определяющих уникальность данной организационно-правовой формы. Концептуальные основы деятельности позволяют определить перспективы и выгоды развития народных предприятий для аграрно-промышленного комплекса и экономики в целом в современных условиях.

На основании законодательно определенных признаков народного предприятия был проведен SWOT-анализ концепции народного предприятия для оценки перспектив их развития в сельскохозяйственной отрасли. Было условно выделено три группы факторов: правовые, экономические и социально-психологические. В качестве базы для анализа и оценки правовых факторов выделены

нормы права, касающиеся деятельности народных предприятий и отраженные в Гражданском кодексе РФ, Федеральных законах «Об акционерных обществах» и «Об особенностях правового положения акционерных обществ работников (народных предприятий)» [2].

В качестве социально-психологических рассматривались следующие факторы:

- исторические, имеющие в силу результирующего влияния на экономику и историю страны как положительное, так и отрицательное значение;
- социальные в части влияния теории поколений, что обеспечивало рассмотрение вопроса через призму уникальных характеристик возрастных групп трудоспособного населения, формирующих трудовые ресурсы отрасли в настоящем и ближайшем будущем;
- вопросы отношений собственности и их влияние на социум.

Экономический аспект заключался в оценке выгоды развития с различных позиций:

- 1) с позиции личных интересов потенциальных собственников и сотрудников организации;
- 2) с точки зрения интересов организации как субъекта экономики;
- 3) с точки зрения государства.

Такой подход обеспечивал системное рассмотрение экономической привлекательности модели народного предприятия.

В ходе анализа учитывались мнения о возможностях и проблемах в развитии народных предприятий в АПК отечественных ученых [3–7]. В результате была составлена простая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 1.

На основании проведенного анализа можно выделить преимущества и недостатки народных предприятий в контексте потенциальных возможностей их развития, что представлено в таблице 2.

К преимуществам народных предприятий можно отнести возможность повышения материальной мотивации сотрудников без увеличения расходов на оплату труда, включая социальные взносы. Выплата дивидендов как мотивационный инструмент дает возможность не увеличивать себестоимость продукции при выплате вознаграждения за результаты труда. С другой стороны, участие сотрудников в прибыли создает гибкий механизм для ротации кадров, в т. ч. высокую мобильность в привлечении необходимых специалистов и присвоение им статуса акционера (от них не требуется имущественный взнос) [8–10].

В целом динамика количества народных предприятий далека от оптимистичной. Их фактическое отсутствие в АПК подтверждается данными таблицы 3, составленной на основании данных СПАРК по состоянию на 14.04.2024 (по ссылке: <https://spark-interfax.ru/statistics>).

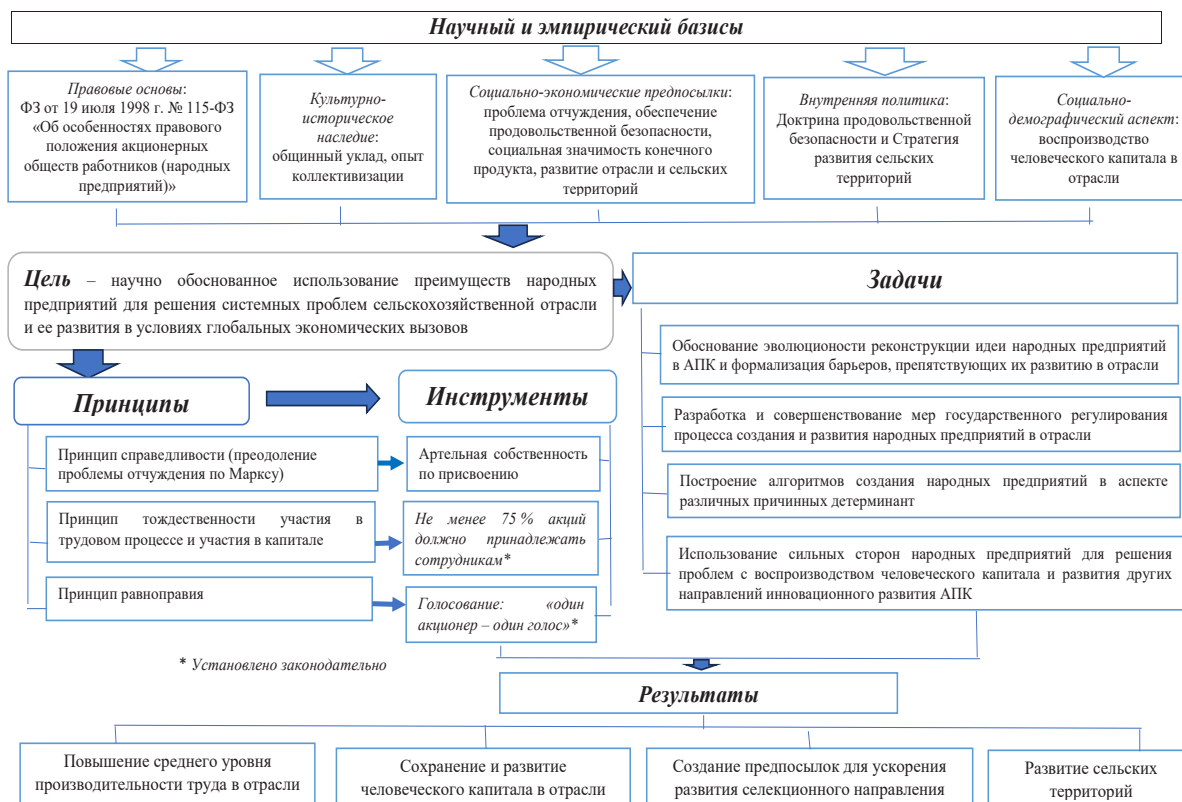


Рис. 2. Концепция развития народных предприятий в АПК

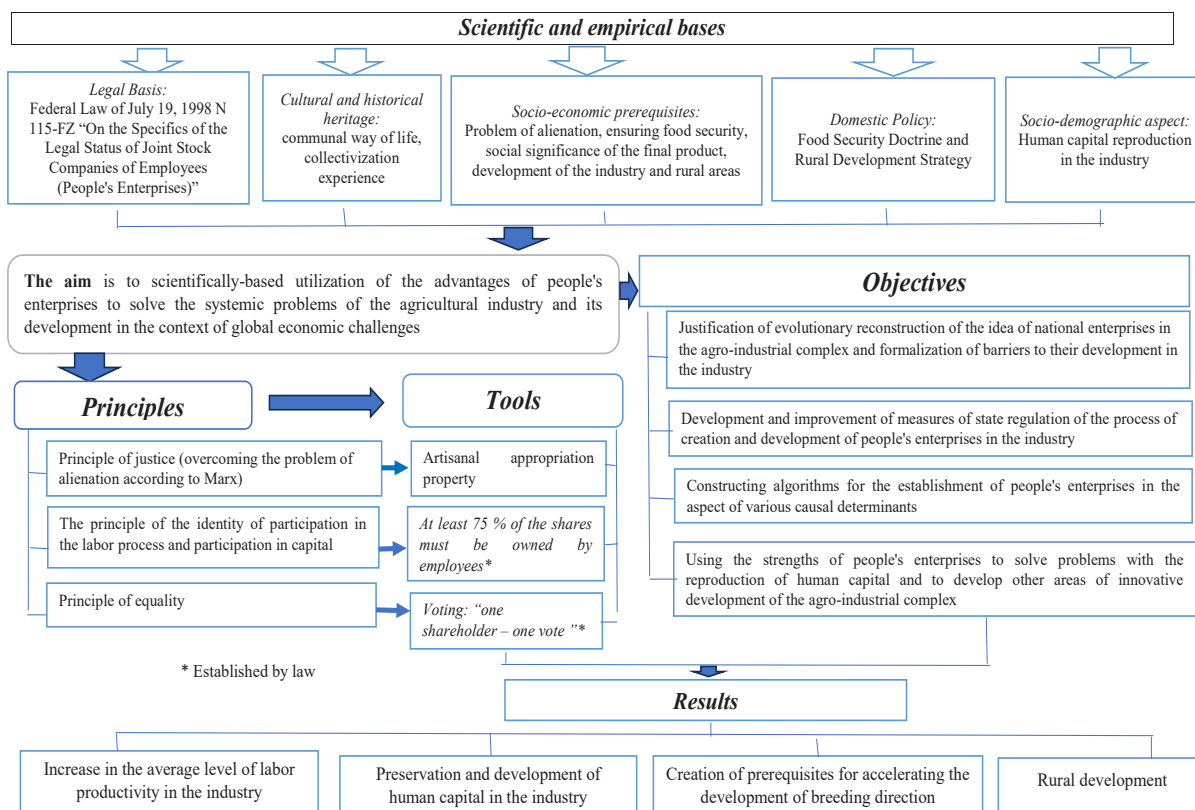


Fig. 2. The concept of development of people's enterprises in the agro-industrial complex

Статистика народных предприятий в сельском хозяйстве на основании публичных данных СПАРК (по ссылке: <https://spark-interfax.ru/statistics>) по состоянию на 01.01.2024 представлена в таблице 4.

Максимальное количество созданных народных предприятий в сельском хозяйстве с момента принятия закона «Об особенностях правового положения акционерных обществ работников (народных предприятий)» в 1998 году достигало 50. Значительная часть из них (36) зарегистрирована в Кабардино-Балкарии, где было сосредоточено более 70 % народных предприятий отрасли. Сформированы они были преимущественно в конце 1990-х – начале

2000-х, что, скорее всего, было связано с созданием особой экономической зоны в республике. Однако в период с 2012 по 2022 год из всех 34 % (97 предприятий) было ликвидировано, а 2 преобразованы в сельскохозяйственный производственный кооператив и в общество с ограниченной ответственностью. Всего было преобразовано в АПК в другие организационно-правовые формы пять народных предприятий.

В стадии ликвидации находится одно народное предприятие, территориально расположенное также в Кабардино-Балкарии (завершаются процедуры, связанные с банкротством).

Таблица 1  
Простая матрица SWOT-анализа для оценки перспектив развития народных предприятий в сельском хозяйстве

Сильные стороны:	Слабые стороны:
<p><b>Правовой аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реализации прав собственности работников через участие в капитале, в управлении, в распределении прибыли и в формировании корпоративной культуры.</li> <li>2. Законодательно определенная структура управления, обеспечивающая независимость трех органов управления: высшего, исполнительного, контрольного.</li> </ol> <p><b>Экономический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Регулирование доходов сотрудников без увеличения бремени обязательных платежей на предприятие.</li> <li>4. Возникновение «оседлости», снижение уровня миграции из региона.</li> <li>5. Дополнительные возможности для развития путем создания фондов развития из прибыли и минимизации использования кредитных и заемных средств.</li> <li>6. Мотивация к труду через устранение «отчуждения» труда.</li> </ol> <p><b>Социально-психологический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Формирование мышления собственника у каждого сотрудника.</li> <li>8. Вовлеченность сотрудников в деятельность предприятия, снижение текучести кадров.</li> </ol>	<p><b>Правовой аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Может быть создано только путем преобразования действующего коммерческого предприятия.</li> <li>2. Ограничения по минимальной и максимальной численности.</li> <li>3. Неопределенность организационно-правового статуса в контексте установленных ГК организационно-правовых форм.</li> <li>3. Недостаточно прописанная в законодательстве правовая база (наследование, продажа, передача).</li> </ol> <p><b>Экономический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Отсутствие прозрачных механизмов сохранения уровня экономической заинтересованности собственников предприятия при переходе к форме народного.</li> </ol> <p><i>Социально-психологический аспект:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Демотивирующие факторы для собственников изначально созданного предприятия (страх утраты заработанного за период деятельности капитала, имущественной базы).</li> <li>6. Этика формирования «чувства собственника» без факта участия имуществом в капитале.</li> </ol>
Возможности и благоприятные факторы:	Угрозы
<p><b>Правовой аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закон о народных предприятиях получил новую редакцию в 2019 году, в которой был устранен ряд барьеров для создания.</li> </ol> <p><b>Экономический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Кризисные явления в экономических системах, основанных на преобладании как частной, так и государственной (общественной) собственности, и поиск новых моделей управления.</li> <li>3. Показатели деятельности предприятий с коллективной формой собственности в России и за рубежом часто выше среднеотраслевых.</li> <li>4. Кризисная ситуация с развитием отечественных разработок для создания материальной базы в сельском хозяйстве.</li> </ol> <p><b>Социально-психологический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Историческая память и склонность к коллективному труду у поколения X.</li> <li>6. Стремление человека к уважению и признанию, «чувство собственника».</li> <li>7. Реинкарнация идеи справедливости «от каждого по способностям – каждому по труду».</li> </ol>	<p><b>Правовой аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие организационно-правовой формы в Гражданском кодексе РФ, постановка вопросов о ее противоречии гражданскому законодательству.</li> </ol> <p><b>Экономический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Отсутствие государственной поддержки для активной интеграции формы в экономическую модель.</li> <li>2. Низкие доходы у сельского населения относительно городского при более высокой трудоемкости.</li> <li>3. Отсутствие развитой инфраструктуры в сельской местности.</li> </ol> <p><b>Социально-психологический аспект:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Индивидуализм у поколений Z и MeMe, негативная историческая память у части поколения X.</li> <li>5. Восприятие сельскохозяйственного труда как трудоемкого и низкооплачиваемого; низкий рейтинг привлекательности жизни в сельской местности.</li> </ol>

Table 1  
Simple SWOT-analysis matrix for assessing the prospects for the development of people's enterprises in agriculture

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<p><b>Legal aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realization of employees' property rights through participation in capital, in management, in profit distribution and in the formation of corporate culture.</li> <li>2. Legislatively defined management structure that ensures the independence of the three management bodies: supreme, executive; controlling.</li> </ol> <p><b>Economic aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Regulation of employees' income without increasing the burden of compulsory payments on the enterprise.</li> <li>4. Emergence of "sedentarization", reduction of migration from the region.</li> <li>5. Additional opportunities for development by creating development funds from profits and minimizing the use of credit and borrowed funds.</li> <li>6. Motivation to work through the elimination of "alienation" of labor.</li> </ol> <p><b>Social and psychological aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Formation of an owner's mindset in each employee.</li> <li>8. Involvement of employees in the company's activities, reduction of staff turnover.</li> </ol>	<p><b>Legal aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Can be established only through the transformation of an existing commercial enterprise.</li> <li>2. Restrictions on the minimum and maximum number of employees.</li> <li>3. Uncertainty of the organizational and legal status in the context of the organizational and legal forms established by the Civil Code.</li> <li>4. Insufficiently prescribed legal basis in the legislation (inheritance, sale, transfer).</li> </ol> <p><b>Economic aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Lack of transparent mechanisms for preserving the level of economic interest of the owners of the enterprise during the transition to the form of the people's enterprise.</li> </ol> <p><b>Social and psychological aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Demotivating factors for the owners of the initially established enterprise (fear of loss of capital, property base earned during the period of activity).</li> <li>7. Ethics of forming the "feeling of the owner" without the fact of participation in the capital by property.</li> </ol>
<b>Opportunities and enabling factors</b>	<b>Threats</b>
<p><b>Legal aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. The Law on People's Enterprises was redrafted in 2019, removing a number of barriers to establishment.</li> </ol> <p><b>Economic aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Crisis phenomena in economic systems based on the prevalence of both private and state (public) ownership and the search for new governance models.</li> <li>3. Performance of enterprises with collective form of ownership in Russia and abroad is often higher than the industry average.</li> <li>4. The crisis situation with</li> <li>5. development of domestic developments to create a material base in agriculture</li> </ol> <p><b>Social and psychological aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Historical memory and propensity to collective labor in generation X.</li> <li>7. The human desire for respect and recognition, the "sense of ownership".</li> <li>8. Reincarnation of the idea of justice "from each according to his abilities - to each according to his labor".</li> </ol>	<p><b>Legal aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Absence of the organizational-legal form in the Civil Code of the Russian Federation, raising questions about its contradiction to the civil legislation.</li> </ol> <p><b>Economic aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Lack of state support for active integration of the form into the economic model.</li> <li>3. Low incomes of rural population relative to urban population with higher labor intensity.</li> <li>4. Lack of developed infrastructure in rural areas.</li> </ol> <p><b>Socio-psychological aspect:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Individualism in generations Z and MeMe, negative historical memory in part of generation X.</li> <li>6. Perception of agricultural labor as labor-intensive and low-paid; low rating of attractiveness of life in rural areas.</li> </ol>

Процедура банкротства относительно ЗАО работников «Народное предприятие «Ильичевская племптицефабрика» (ИНН 381614014550) прекращена. Сотрудникам удалось сохранить бизнес на стадии внешнего управления, и в 2023 году предприятие получило чистую прибыль по итогам финансового года. Сравнение отдельных показателей предприятия за 2023 год, а также еще одного действующего в отрасли ЗАОр «Народное предприятие «Энергия» в сравнении со среднеотраслевыми представлено в таблице 5.

По итоговому рейтингу сайта audit-it.ru финансовое состояние рассмотренных предприятий оценивается лучше, чем в среднем по отрасли, и лучше, чем для компаний с аналогичным масштабом бизнеса по критерию численности.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Народные предприятия как организационно-правовая форма сельскохозяйственного бизнеса на текущий момент не получили распространения на территории страны. Наличие существенного действия барьеров для создания в сельскохозяйственной отрасли для народных предприятий подтверждается их долей в экономике отрасли. Сильной стороной деятельности народных предприятий является прямая и простая оценка трудовых усилий каждого сотрудника вне зависимости от функционала и финансового результата предприятия. Это обеспечивает прозрачный механизм материальной мотивации (дивиденды), не требующий увеличения фонда оплаты труда, негативно сказывающегося на себестоимости продукции.



## Преимущества и недостатки народных предприятий в контексте рассмотрения вопроса об их развитии в АПК

Преимущества	Недостатки
Право владения основано на трудовом участии в процессе производства материальных благ. Право собственности возникает только в случае реализации трудовой функции и теряется в момент отказа от трудовой функции	Возможность создания только путем преобразования: не предусмотрен механизм создания с нуля, что является барьером. В случае если до преобразования предприятие было коммерческим с одним или несколькими акционерами, требуются механизмы, обеспечивающие их право на сохранение заработанного капитала
Бесплатное распределение акций (акции являются оценкой стоимости трудовых усилий, вложенных в предприятие)	Бесплатное распределение акций обесценивает возможность и право на владение: то, что достается легко и бесплатно, мало ценится
Заградительные условия для неправомерного перехода права собственности третьим лицам: принцип голосования «один акционер – один голос», максимальное количество акций у одного акционера – не более 5 %	Определенная законодательно минимальная численность акционеров – не менее 51
Более гибкий механизм для ротации кадров, в т. ч. высокая мобильность в привлечении необходимых специалистов и присвоение им статуса акционера (от них не требуется имущественный взнос)	Отсутствие мер государственной поддержки при наличии мощного антилобби
Высокая вовлеченность всех сотрудников в деятельность компании	Исключительно слабая информированность субъектов экономики о существовании организационно-правовой формы

Table 2

## Advantages and disadvantages of people's enterprises in the context of considering their development in the AIC

Advantages	Disadvantages
The right of ownership is based on labor participation in the process of production of material goods. The right of ownership arises only when the labor function is realized and is lost when the labor function is abandoned	Creation by transformation only: there is no mechanism to create from scratch, which is a barrier. If the enterprise was a commercial enterprise with one or more shareholders prior to transformation, mechanisms are required to ensure their right to retain their earned capital
Free distribution of shares (shares are an estimate of the value of the labor effort invested in the enterprise)	The free distribution of shares devalues the opportunity and right to own: what comes easily and for free is of little value
Barriers to the illegal transfer of ownership to third parties: the principle of voting "one shareholder - one vote", the maximum number of shares held by one shareholder is not more than 5 percent	The statutory minimum number of shareholders is at least 51
A more flexible mechanism for staff rotation, including high mobility in attracting the necessary specialists and granting them the status of "shareholder" (they are not required to make a property contribution)	Lack of government support measures in the presence of a strong anti-lobby
High involvement of all employees in the company's activities	Exceptionally low awareness of economic entities about the existence of the organizational-legal form

Таблица 3

## Количество народных предприятий в АПК в период 2019–2023 гг.

Количество сельскохозяйственных предприятия	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
Всего	95 010	88 468	85 091	84 862	85 142
закрытых акционерных обществ работников (народных предприятий)	5	5	5	5	4
в % к общему числу предприятий	0	0	0	0	0
в т. ч. работающие	4	4	4	4	3

Table 3  
The number of people's enterprises in the AIC in the period 2019–2023

Number of agricultural enterprises	Years				
	2019	2020	2021	2022	2023
Total	95 010	88 468	85 091	84 862	85 142
closed joint-stock companies of employees (people's enterprises)	5	5	5	5	4
as a % of the total number of enterprises	0	0	0	0	0
including those working	4	4	4	4	3

Таблица 4  
Статистика народных предприятий в сельском хозяйстве

Показатель	Количество предприятий, шт.
Всего было зарегистрировано с 1998 года	50
Действующие по состоянию на 01.01.2024	3
В стадии ликвидации	1
Ликвидировано	41
Преобразовано, в т. ч.	5
в сельскохозяйственный производственный кооператив	1
в непубличное акционерное общество	2
в публичное акционерное общество	1
в общество с ограниченной ответственностью	1

Table 4  
Statistics of people's enterprises in agriculture

Indicator	Number of enterprises, pcs.
Total registered since 1998	50
Effective as of 01.01.2024	3
In liquidation	1
Eliminated	41
Converted, including	5
to an agricultural production cooperative	1
non-public joint stock company	2
public company	1
limited company	1

Таблица 5  
Сравнение показателей деятельности народных предприятий в АПК со среднеотраслевыми за 2023 год

Показатель	Среднеотраслевой показатель по ОКВЭД 01.50 «Смешанное сельское хозяйство» (464 организации)	ЗАО «Народное предприятие «Энергия»	Среднеотраслевой показатель по ОКВЭД 01.47 «Разведение сельскохозяйственной птицы» (138 организаций)	ЗАО «Народное предприятие «Ильичевская племптице-фабрика»
Коэффициент автономии	0,72	0,91	0,42	-3,2
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,37	0,79	0,19	-5,98
Коэффициент текущей ликвидности	3,68	9,36	2,0	0,2
Рентабельность продаж, %	8,92	19,1	5,17	3,9
Норма чистой прибыли, %	29,5	10,9	3,6	6,3
Рентабельность активов, %	5,6	13,9	4,4	13,7
Фондоотдача	0,89	1,05	3,02	8,27

## Comparison of performance indicators of national enterprises in the agro-industrial complex with the industry average for 2023

Indicator	Average industry indicator according to OKVED 01.50 "Mixed agriculture" (464 organizations)	CJSCe "People's Enterprise Energia"	Average industry indicator according to OKVED 01.47 "Breeding of agricultural poultry" (138 organizations)	CJSCe "People's enterprise "Ilyichevskaya Plemptitsa-factory"
Autonomy ratio	0.72	0.91	0.42	-3.2
Coefficient of provision with own current assets	0.37	0.79	0.19	-5.98
Current liquidity ratio	3.68	9.36	2.0	0.2
Return on sales, %	8.92	19.1	5.17	3.9
Net profit margin, %	29.5	10.9	3.6	6.3
Return on assets, %	5.6	13.9	4.4	13.7
Funds yield	0.89	1.05	3.02	8.27

Анализ показателей деятельности действующих народных предприятий в АПК дает основание предположить, что при сознательном переходе собственников к форме народного предприятия как инструменту повышения эффективности деятельности стоит ожидать существенного роста показателей рентабельности и нормы прибыли предприятий отрасли.

С точки зрения развития экономики государства, а особенно ее стратегически важных отраслей, к которым относится и АПК, народные предприятия могут стать одним из инструментов, способствующих их новому этапу развития.

## Библиографический список

- Добрунов М. Глазьев предложил передавать предприятия ушедших компаний сотрудникам [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/economics/03/04/2022/62490f249a794764e113f877> (дата обращения: 21.12.2024).
- Об особенностях правового положения акционерных обществ работников (народных предприятий): Федеральный закон № 115-ФЗ [принят Государственной Думой 24 июня 1998 г.; одобрен Советом Федерации 09 июля 1998 г.; послед. ред.] [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19458](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19458) (дата обращения: 21.12.2024).
- Винограй Э. Г., Плосконосова Е. А., Гуляев М. О. Проблемы развития народных предприятий // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы V Международной научной конференции». Кемерово, 2017. С. 452–454.
- Структурная трансформация и механизмы хозяйствующих субъектов в АПК / Под науч. рук. проф. О. А. Родионовой. Москва: Сам полиграфист, 2020. 200 с.
- Бестолков В. И. Народные предприятия в российской экономике: достижения и проблемы спустя 15 лет после образования // Экономика промышленности. 2014. № 2. С. 4–9.
- Балацкий Е. В., Екимова Н. А. Возможности и ограничения «модели народного капитализма» // Мир новой экономики. 2023. Т. 17, № 3. С. 40–54. DOI: 10.26794/2220-6469-2023-17-3-40-54.
- Воронин Б. А., Воронина Я. В., Воронина М. Ю. [и др.] Организационно-правовые формы хозяйствования в аграрном предпринимательстве: монография // Екатеринбург: Издательство Уральского ГАУ, 2020. 276 с.
- Абряндина В. В. Народные предприятия: организационно-правовой аспект функционирования // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 1. С. 131–138. DOI: 10.33938/231-131.
- Абряндина В. В. Народные предприятия как социально-ориентированная форма предпринимательской деятельности в АПК // Russian Journal of Management. 2024. № 3. С. 85–96. DOI: 10.29039/2409-6024-2024-12-3-85-96.
- Гумеров И. К., Аюпов А. А. Проблемы экономической безопасности и эффективности функционирования народных предприятий АПК в современной российской и мировой экономике // На страже экономики. 2024. № 1 (28). С. 60–66. DOI: 10.36511/2078-5356-2024-1-60-66.
- Ключко В. Н. Пути развития производственной демократии: сравнительный анализ народных предприятий и артелей // Инновации в менеджменте. 2020. № 1 (23). С. 38–45.

12. Николаев О. В., Литвина Н. И., Сушенцова С. С. К вопросу об экономическом развитии сельских территорий России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 7. С. 15–21. DOI: 10.33938/227-15.

13. Николаев О. В., Литвина Н. И., Сушенцова С. С. Актуальные вопросы современной аграрной политики // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 3. С. 72–78. DOI: 10.33938/223-72.

14. Николаев О. В., Литвина Н. И., Ардяка Г. В. Проблемы развития сельских территорий страны // Научное обозрение: теория и практика. 2020. Т. 10, Вып. 10. С. 2416–2423. DOI: 10.35679/2226-0226-2020-10-10-2416-2423.

15. Цечоева А. А. Особенности правового статуса акционерного общества работников (народного предприятия) в Российской Федерации // Наукосфера. 2021. № 6 (1). С. 473–478.

16. Катайкин А. А., Аникин С. А., Иваев М. И. Достаточны ли образование и навыки менеджмента для успешного управления организацией? // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 4. С. 33–35.

17. Моисеева О. А. Значение кооперации для устойчивого развития отрасли и сельских территорий // Курс на развитие АПК и улучшение качества жизни на селе: сборник трудов конференции. Москва, 2023. С. 163–172.

18. Моисеева О. А. Сельскохозяйственные кооперативы и их роль в формировании специализированных высокотехнологичных зон по производству сельскохозяйственной продукции // АПК: Экономика, управление. 2023. № 10. С. 49–56.

#### Об авторах:

**Анжелика Александровна Астра**, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0003-0004-812X, AuthorID 359808. E-mail: kristimof@yandex.ru

**Анатолий Тимофеевич Стадник**, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры управления и отраслевой экономики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия, ORCID 0000-0002-8761-6697, AuthorID 106221. E-mail: nsau\_men425@mail.ru

#### References

1. Dobrunov M. Glazyev proposed to transfer the enterprises of departed companies to employees [Internet]. 2022 [cited 2024 Dec 21]. Available from: <https://www.rbc.ru/economics/03/04/2022/62490f249a794764e113f877>. (In Russ.)

2. On the peculiarities of the legal status of joint-stock companies of employees (people’s enterprises): Federal Law of 24 July 1998 No. 115-FL [adopted by the State Duma on June 24, 1998; approved by the Federation Council on July 9, 1998; last ed] [Internet] [cited 2024 Dec 21]. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19458](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19458). (In Russ.)

3. Vinogray E. G., Ploskonosova E. A., Gulyaev M. O. Problems of development of national enterprises. *Food innovations and biotechnology: materials of the V International Scientific Conference*. Kemerovo, 2017. Pp. 452–454. (In Russ.)

4. *Structural transformation and mechanisms of economic entities in the agro-industrial complex*. Under the scientific direction of prof. O. A. Rodionova. Moscow: Sam Polygraphist, 2020. 200 p. (In Russ.)

5. Bestolkov V. I. People’s enterprises in the system of the world economy demonstrate competitiveness. What is their fate in Russia? *Economy of Industry*, 2014; 2: 4–9. (In Russ.)

6. Balatskiy E. V., Ekimova N. A. Opportunities and limitations of the “People’s Capitalism Model”. *The World of New Economy*, 2023; 17 (3): 40–54. DOI: 10.26794/2220-6469-2023-17-3-40-54. (In Russ.)

7. Voronin B. A., Voronina Ya. V., Voronina M. Yu., et al. *Organizational and legal forms of economic management in agrarian entrepreneurship: a monograph*. Ekaterinburg: Ural GAU Publishing House, 2020. 276 p. (In Russ.).

8. Abryandina V. V. People’s enterprises: organisational and legal aspect of functioning. *Economics, Labour, Management in Agriculture*. 2023; 1: 131–138. DOI: 10.33938/231-131. (In Russ.)

9. Abryandina V. V. National enterprises as a socially oriented form of entrepreneurial activity in the agro-industrial complex. *Russian Journal of Management*. 2024; 3: 85–96. DOI: 10.29039/2409-6024-2024-12-3-85-96. (In Russ.)

10. Gumerov I. K., Ayupov A. A. Problems of economic security and efficiency of functioning of the functioning of national agricultural enterprises in the modern Russian Federation and the global economy. *On Guard of the Economy*. 2024; 1 (28): 60–66. DOI: 10.36511/2078-5356-2024-1-60-66. (In Russ.)



11. Klyuchko V. N. Ways of development of industrial democracy: comparative analysis of people's enterprises and artels. *Innovations in Management*. 2020; 1 (23): 38–45. (In Russ.)
12. Nikolaev O. V., Litvina N. I., Sushentsova S. S. On the issue of economic development of rural areas of Russia. *Economics, Labour, Management in Agriculture*. 2022; 7: 15–21. DOI: 10.33938/227-15. (In Russ.)
13. Nikolaev O. V., Litvina N. I., Sushentsova S. S. Topical issues of modern agrarian policy. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2022; 3: 72–78. DOI: 10.33938/223-72. (In Russ.)
14. Nikolaev O. V., Litvina N. I., Ardyaka G. V. Problems of rural areas development. *Scientific Review: Theory and Practice*. 2020; 10: 2416–2423. DOI: 10.35679/2226-0226-2020-10-10-2416-2423. (In Russ.)
15. Tsechoeva A. A. Features of the legal status of a joint stock company of employees (people's enterprise) in the Russian Federation. *Naukosfera*. 2021; 6 (1): 473–478. (In Russ.)
16. Kataykin A. A., Anikin S. A., Ivaev M. I. Are education and management skills enough for successfully manage the organization? *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*. 2022; 4: 33–35. (In Russ.)
17. Moiseeva O. A. The importance of co-operation for sustainable development of the industry and rural areas. *The course for the development of agro-industrial complex and improving the quality of life in rural areas: conference proceedings*. Moscow, 2023. Pp. 163–172. (In Russ.)
18. Moiseeva O. A. Agricultural cooperatives and their role in the formation of specialized high-tech zones for the production of agricultural products. *AIC: Economics, Management*. 2023; 10: 49–56. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Anzhelika A. Astra**, candidate of economic sciences, associate professor at the department of management, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0003-0004-812X, AuthorID 359808. E-mail: kristimof@yandex.ru

**Anatoliy T. Stadnik**, doctor of economic sciences, professor, professor at the department of management and sectoral economics, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-8761-6697, AuthorID 106221. E-mail: nsau\_men425@mail.ru

## Development of cooperation and coordination between universities and small and medium-sized businesses in the agro-industrial complex of Russia, Belarus and Nigeria

G. V. Astratova<sup>1</sup>✉, O. A. Rushchitskaya<sup>2</sup>, Ch. N. Onwusiribe<sup>1</sup>, A. M. Izmaylov<sup>3,4</sup>

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

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup> Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

<sup>4</sup> Samara State Medical University, Samara, Russia

✉ E-mail: galina\_28@mail.ru

**Abstract.** The purpose is to assess university-SME collaboration in the agro-industrial complex of Russia, Belarus, and Nigeria, with specific focus on identifying key graduate competencies valued by employers and measuring employer satisfaction with those competencies. **Methods.** Mixed-methods approach using expert surveys from employers (66 in Russia, 40 in Belarus, 44 in Nigeria) and students, analyzed through Structural Equation Modeling (SEM) and Principal Component Analysis (PCA). **Results.** University-SME collaboration significantly influences graduate competencies ( $\beta = 0.62$  for Russia,  $\beta = 0.54$  for Nigeria,  $\beta = 0.58$  for Belarus) and employer satisfaction. By means of PCA identified four principal components of graduates' valuable competencies for the employer: 1) technical and analytical skills, 2) interpersonal skills, 3) innovation and global mindset, 4) ethical and social awareness, explaining over 75 % of the variance across all three countries. **Scientific novelty.** The comparative analysis of three different economies allows understanding of how cultural and economic factors influence university-SME collaboration dynamics in the agro-industrial complex. The study provides comprehensive insights into aligning higher education outcomes with labor market needs in the agricultural sectors of Russia, Belarus, and Nigeria through employer perspectives.

**Keywords:** agro-industrial complex, development of cooperation, coordination of actions, universities, agrarian universities, small and medium-sized businesses (SMEs), employers, employer satisfaction, Triple Helix Model, Human Capital Theory, Social Capital Theory, competencies of university graduates, digital competencies, digitalization of the agro-industrial complex

**Acknowledgments.** The study was carried out under grant No. 23-28-00853 of the Russian Science Foundation; competition 2022 "Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small individual scientific groups"; topic "Mechanisms for the development of complex socio-economic systems in new economic conditions: The Union State of Russia and Belarus; the research sector; higher education and the labor market in the digital economy."

**For citation:** Astratova G. V., Rushchitskaya O. A., Onwusiribe Ch. N., Izmaylov A. M. Development of cooperation and coordination between universities and small and medium-sized businesses in the agro-industrial complex of Russia, Belarus and Nigeria. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 496–514. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-496-514>.

**Date of paper submission:** 06.12.2024, **date of review:** 31.01.2025, **date of acceptance:** 10.02.2025.

## Развитие сотрудничества и координации действий между университетами и предприятиями малого и среднего бизнеса в АПК России, Беларуси и Нигерии

Г. В. Астратова<sup>1✉</sup>, О. А. Рущицкая<sup>2</sup>, Ч. Н. Онвусирибе<sup>1</sup>, А. М. Измайлов<sup>3,4</sup>

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

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия

<sup>4</sup> Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

✉ E-mail: galina\_28@mail.ru

**Аннотация.** Цель – оценить сотрудничество университетов и малого и среднего бизнеса в АПК России, Беларуси и Нигерии, уделив особое внимание выявлению ключевых компетенций выпускников, которые ценятся работодателями, и измерению удовлетворенности работодателей этими компетенциями. **Методы.** Подход основан на смешанных методах с использованием экспертных опросов работодателей (66 в России, 40 в Беларуси, 44 в Нигерии) и студентов. Опросы проанализированы с помощью моделирования структурными уравнениями (SEM) и анализа главных компонент (PCA). **Результаты.** Сотрудничество университетов и малого и среднего бизнеса существенно влияет на компетенции выпускников ( $\beta = 0,62$  для России,  $\beta = 0,54$  для Нигерии,  $\beta = 0,58$  для Беларуси) и удовлетворенность работодателя. Посредством метода PCA выделено четыре основных компонента ценных для работодателя компетенций выпускников: 1) технические и аналитические навыки, 2) навыки межличностного общения, 3) инновационный и глобальный подход, 4) этическая и социальная осведомленность, что объясняет более 75 % различий во всех трех странах. **Научная новизна.** Сравнительный анализ трех различных экономик позволяет понять, как культурные и экономические факторы влияют на динамику сотрудничества университетов и малого и среднего бизнеса в АПК. Исследование дает всестороннюю информацию о приведении результатов высшего образования в соответствие с потребностями рынка труда в сельскохозяйственных секторах России, Беларуси и Нигерии с точки зрения работодателей.

**Ключевые слова:** АПК, развитие сотрудничества, координация действий, университеты, аграрные университеты, вузы, малый и средний бизнес (МСБ), работодатели, удовлетворенность работодателей, модель тройной спирали (Triple Helix Model), теория человеческого капитала, теория социального капитала, компетенции выпускников вузов, цифровые компетенции, цифровизация АПК

**Благодарности.** Работа выполнена по гранту № 23-28-00853 Российского научного фонда; конкурс 2022 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»; тема «Механизмы развития сложных социально-экономических систем в новых экономических условиях: Союзное государство России и Беларуси; научно-исследовательский сектор; высшее образование и рынок труда в цифровой экономике».

**Для цитирования:** Астратова Г. В., Рущицкая О. А., Онвусирибе Ч. Н., Измайлов А. М. Развитие сотрудничества и координации действий между университетами и предприятиями малого и среднего бизнеса в АПК России, Беларуси и Нигерии // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 496–514. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-496-514>.

**Дата поступления статьи:** 06.12.2024, **дата рецензирования:** 31.01.2025, **дата принятия:** 10.02.2025.

### Introduction

The dynamic landscape of higher education and evolving job market demands necessitate a closer examination of university-SME collaboration. This is especially important for the agricultural sector, since the agro-industrial complex (here and further – AIC) is responsible for food security, and small and medium-

sized businesses play a key role in achieving saturation of the food market with basic foodstuffs. Moreover, it is agricultural universities that form educational programs for future employees of these enterprises to study. Therefore, it is important to understand the nature of cooperation between universities and SMEs. That is why this research focuses on enhancing this

collaboration through employer satisfaction studies of graduate competencies in Russia, Nigeria, and Belarus, three diverse economies with unique challenges in their higher education, AIC and business sectors.

Recent years have seen growing recognition of the need to align higher education outcomes with labor market needs, particularly in emerging economies. As Nieves Arranz et al. note, "... *creating an active collaboration between the university and the company both in-depth and in breadth is a facilitator of the employment of HEIs graduates*" [1].

In Russia, initiatives like Project 5-100 aim to improve university competitiveness globally [2; 3]. Belarus is transitioning from a centrally planned to a market economy, necessitating higher education reforms [4–6]. Nigeria grapples with graduate employability issues, as C. A. Nwajiuba et al. highlight that cooperation between universities and business is at a low level and "... *many HEIs in Nigeria lack the necessary pedagogy, funding and infrastructure to carry out the teaching of employability skills*" [7].

Employer satisfaction studies can provide insights into skills valued by SMEs. Jesús García-Álvarez et al. [8] found that employers prioritize job-related basic skills, socio-relational skills, and self-management skills. In Russia, V. G. Lizunkov et al. [9] noted that employers highly valued team competence, but graduates often lacked this skill. Belarus studies show a disconnection between higher education and societal needs [10]. For Nigeria, I. Otache [11] emphasizes involving business experts in curriculum development.

Enhanced university-SME collaboration offers significant benefits. D. Borah et al. [12] found that graduates from institutions with teaching-focused university-industry collaborations acquire better employability competencies. In Russia, N. Matveeva and A. Ferligoj [3] observed increased cooperation between universities and research institutions after joining Project 5-100.

Belarus is improving higher education quality through international cooperation. For African countries, U. A. Osakede [13] notes: "Entrepreneurship has been identified as the best solution to unemployment, underemployment and poverty among the youths, especially in instances where educated individuals cannot find jobs".

Enhancing university-SME collaboration through employer satisfaction studies of graduate competencies presents a promising avenue for improving higher education quality and graduate employability in Russia, Belarus, and Nigeria. By understanding SME-valued competencies and tailoring educational programs accordingly, universities can better prepare graduates for the job market, addressing critical needs in these countries and contributing to the global discussion on aligning higher education with labor market demands.

It should be noted that the issues we are addressing practically do not concern the field of agriculture. Moreover, we have not found in the literature available to us data on agricultural universities studying cooperation between universities and SMEs in the context of satisfaction with employers' satisfaction with the competencies of university graduates in Russia, Belarus and Nigeria. That is why the specific objectives of our research are to:

1. Assess the current state of university-SME collaboration in Russia, Belarus and Nigeria, with a focus on employer satisfaction regarding graduate competencies of agrarian universities.

2. Identify key graduate competencies valued by SMEs in AIC in Russia, Belarus and Nigeria, comparing and contrasting employer expectations in these three countries.

### Methods

#### The theoretical framework of the study

The interaction between universities and enterprises, particularly small and medium-sized enterprises, is a critical driver of economic development in today's rapidly evolving global landscape. This relationship is especially important in emerging economies like Russia, Belarus and Nigeria, where the need for skilled graduates and innovation is paramount for economic growth. This literature review examines the current state of university-SME collaboration in Russia and Nigeria, focusing on employer satisfaction with graduate competencies and the theoretical frameworks that underpin these relationships and the relationship is presented in Figure 1.

#### Triple Helix Model

The Triple Helix Model, proposed by Etzkowitz and Leydesdorff, emphasizes university-business-government interaction as a driver of innovation and economic development [14]. In this model it "... considers the interconnected, interdependent and spiraling interaction between innovative agents of government, universities and enterprises in order to produce, transform and transfer knowledge" [4].

In Russia, Project 5-100 exemplify this model, increasing research productivity and expanding cooperation. In addition, the creation of innovation clusters and technology parks also illustrate the interaction between universities and business [15; 19]. Belarus shows progress through innovative industrial clusters [16–18], and including in the field of agriculture [4], and international projects like ERASMUS+ [17; 51]. However, D. Bylaite-Salavejiene and A. García-Aracil [18] suggest stronger institutional reforms are needed to support graduate competencies development.

In Nigeria, C. A. Nwajiuba et al. [7] emphasize the need for the formation of such a culture and environment that would promote cooperation between universities, industry (including agricultural production) and public administration.



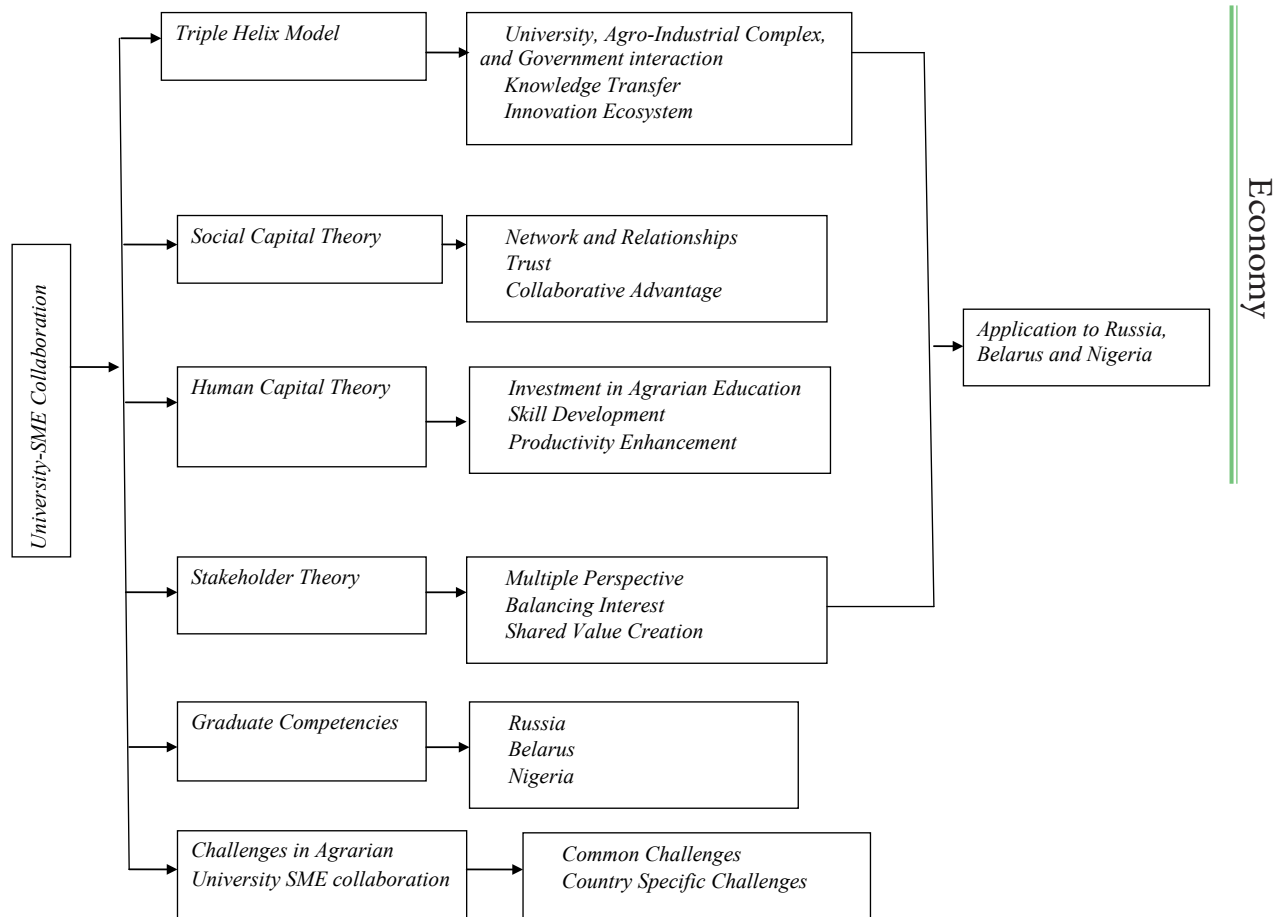


Fig. 1. Conceptual Framework for the study  
Source: developed by the authors

As these countries develop their higher education systems and strengthen university-SME collaborations, the Triple Helix model provides a valuable framework for enhancing these interactions, fostering innovation and economic vibrancy in general, and the agricultural and industrial complex in particular.

#### Social Capital Theory

The Theory of Social Capital, views social ties as a collective resource for obtaining benefits. It emphasizes social capital's value in reducing transaction costs, leading to entrepreneurial success and increased organizational profits [6; 21; 22].

In university-SME collaboration, Social Capital Theory highlights the importance of networks and trust in facilitating knowledge transfer and enhancing graduate employability. Nieves Arranz et al. argue that "creating an active collaboration between the university and the company both in-depth and in breadth is a facilitator of the employment of HEIs graduates" [1].

In Russia, V. G. Lizunkov et al. [9] and M. V. Morozova et al. [19] found employers highly valued team competence, but noted a significant skills gap among graduates.

Belarus is transitioning to a market-oriented economy, with Social Capital Theory gaining traction in university-SME collaboration. Adela García-Aracil et

al. [8] identified six key items defining graduate employability in Belarus. However, challenges remain, as Rosa Isusi-Fagoaga et al. [10] point to a lack of attention to entrepreneurial and transversal competencies in Belarusian higher education.

All three countries need to further develop Social Capital Theory in practice to strengthen university-SME relations. This can help bridge the skills gap and enhance graduate employability in the global job market [4; 5; 20].

#### Human Capital Theory

The Theory of Human Capital is central to social reproduction and economic growth at both macro and micro levels. It posits that investing in education and training leads to increased productivity and economic benefits for individuals and society, underpinning the rationale for university education's role in workforce preparation [21; 22].

In Russia, D. A. Avdeeva's [21] study assessed human capital's (HC) contribution to economic growth from 2000–2021. From 2004–2017, HC accumulation provided about 0.6 percentage points of annual economic growth, decreasing to near zero by 2018–2019. In 2020–2021, HC's contribution became negative (–0.5 percentage points) due to the Covid pandemic's impact on public health [21].

Belarus is reforming its higher education system to improve quality [30] and align with labor market needs [4]. García-Aracil et al. [23] studied employers' perceptions of graduates' employability in Belarus. Isusi-Fagoaga et al. [10] found a lack of attention to entrepreneurial and transversal competencies in Belarusian higher education, suggesting a need for more targeted investment.

In Nigeria, Binuyo et al. [24] found that social innovation dimensions positively affected skill acquisition among university graduates ( $Adj. R^2 = 0.254$ ,  $F(4, 510) = 44.826$ ,  $p < 0.05$ ), highlighting the importance of education innovation and digital innovation in enhancing graduate skills.

It is also important that the effectiveness of the agrarian personnel policy and the positive dynamics of its development are largely determined by the qualitative parameters of human capital. In the study of N. I. Proka [25], the basic directions of investments in the development of the human capital of the agro-industrial complex are considered, where a comparative analysis of the indicators of the state program "Integrated rural development" is taken as a basis. As a result of this author's research, it is shown that the effectiveness of using state support funds for any agro-industrial complex development program depends on a three-level system of socio-economic indicators, which makes it possible to assess the effectiveness of its implementation and the effectiveness of using budget funds.

Thus, these studies demonstrate the need for expanded cooperation between higher education institutions, AIC and the labor market, aligning with Human Capital Theory's emphasis on developing directly applicable skills in the labor market.

#### Stakeholder Theory

The Stakeholder Theory, applicable to university-SME collaboration, emphasizes considering all parties' interests in the educational process [27; 29]. In Russia, this theory is successfully applied in large organizations and is being explored for universities' "third mission" implementation [15]. A Northwestern Scientific School study compared universities in Russia, Poland, Lithuania, and Sweden, proposing a classification of key university stakeholders and highlighting employers' role [15]. Other Russian researchers have also examined aspects of coordinating employer, university interests [4; 22; 32; 33] as well as customer's ones [19; 28; 30; 31].

In Belarus, as the country transitions to a market-oriented economy, Stakeholder Theory application in university-SME collaboration gains importance. García-Aracil et al. [6] studied employers' perceptions of graduates' employability in Belarus, exemplifying the stakeholder approach.

For Nigeria, C. A. Nwajiuba et al. [7] adopted a stakeholder approach in studying higher education quality and graduate employability, emphasizing the need to consider various stakeholders' perspectives in curriculum design.

As for the application of the theory of stakeholder management in the agro-industrial complex, here, according to the research of R. V. Nuzhdin [26], the theoretical basis has just begun to form.

Thus, the considered studies demonstrate the necessity of reconciling university and business interests, aligning with Stakeholder Theory principles.

#### Current state of University-SME collaboration Russia

In Russia, efforts to enhance university-SME collaboration in the agricultural sector have been significantly shaped by the need to modernize agribusiness education and align it with contemporary farming and food production demands. L. Daineko [34] examines how Ural Federal University (UrFU) has implemented innovative approaches to modernize education through online technologies, project-based learning, and creating collaborative spaces between students and business experts. At the same time, it should be noted that similar measures have begun to be implemented at the Ural State Agrarian University. In other words, innovative approaches are being introduced to modernize agricultural education through online technologies, project-based learning on farms and creating a space for collaboration between students and agribusiness experts.

V. Teslenko and R. Melnikov [35] emphasize the importance of developing specialized doctoral programs in agricultural sciences, particularly focusing on training researchers and engineers for high-tech agricultural enterprises. Their proposed industrial PhD model suggests collaboration between universities and agricultural businesses, with research projects directly addressing farming sector needs and joint supervision between academic and agro-industrial experts.

A. S. Kucherov [27] specifically addresses the agricultural sector, outlining strategies to improve cooperation between agricultural universities, rural schools, and agricultural producers to enhance workforce development in regional agro-industrial complexes. However, the systematic study of employer satisfaction with agricultural graduates' competencies remains an emerging field in Russia.

#### Nigeria

In Nigeria, while university-SME collaboration in agriculture is still developing, there are increasing efforts to bridge this gap. I. Otache [11] investigates how Nigerian educational institutions can better prepare graduates for the agricultural sector, emphasizing the need for agricultural industry experts' involvement in curriculum development. The study particularly highlights the importance of practical agricultural training and exposure to modern farming operations.

C. A. Nwajiuba et al. [7] found significant gaps in collaboration between higher education institutions and agricultural businesses in Nigeria, noting that many institutions lack adequate resources for teaching modern agricultural skills. The authors stress the importance

of creating stronger links between agricultural universities, farming businesses, and government agencies to develop more effective agricultural education programs.

The research revealed a particular gap in studies focusing specifically on agricultural university-SME collaboration and employer satisfaction with agricultural graduates' competencies in both countries' literature.

#### **Belarus**

In Belarus, efforts to enhance university-SME collaboration are gaining momentum as the country transitions to a more market-oriented economy and align its higher education system with international standards. A. Moemeni et al. [36] describe the EU-funded ERASMUS+ Capacity Building in Higher Education project, which aims to enhance the competencies of ICT specialists and improve the quality of ICT education in Belarusian universities. This project involves collaboration between Belarusian universities, European higher education partners, as well as agro-industrial representatives, demonstrating a multi-stakeholder approach to education reform [51].

A. García-Aracil and R. Isusi-Fagoaga [6] conducted a comprehensive study on employers' perceptions of young higher education graduates' employability in Belarus. Their research, based on a survey of 261 employers, identified 24 competencies associated with obtaining a job after graduation, grouped into five categories: entrepreneurial, leadership, interdisciplinary, cognitive, and adaptability. This study provides valuable insights into the expectations of employers and highlights areas where university-SME collaboration could be strengthened to enhance graduate employability.

However, challenges remain in fully realizing effective university-SME collaboration in Belarus. R. Isusi-Fagoaga et al. [10] found a disconnection between higher education outcomes and societal needs, particularly in terms of entrepreneurial and transversal competencies. This suggests a need for more targeted collaboration between universities and SMEs to better align educational outcomes with labor market demands.

To address these challenges, A. Fedotov et al. [37] emphasize the importance of aligning master-level education in physical sciences with market needs in Belarus. Their study highlights the need for enhancing cooperation between higher education institutions and the labor market, particularly in organizing internships and practical experiences for students. This approach aligns with the efforts seen in Russia and Nigeria to expose students to real-world work situations.

Furthermore, Y. Kalesnik et al. [20] identified several areas for improvement in Belarusian universities, including the development of soft skills competencies for both teachers and students, the introduction of active teaching and learning methods, and the implementation of a student-oriented quality assessment system. These initiatives demonstrate Belarus's commitment to

enhancing university-SME collaboration and improving the overall quality of higher education.

At the same time, we have not found studies in relation to agriculture and agricultural universities in the open access literature.

#### **Graduate competencies valued by SMEs in agricultural industrial complex**

In Russia, employers in the agro-industrial complex value both technical agricultural skills and soft competencies. T. Kamarova [38] notes a significant shift towards soft skills since 2000 even in traditionally technical agricultural sectors, citing a Harvard University and Stanford Research Institute study showing soft skills contribute 85% to an employee's professional success. V. Lizunkov et al. [39] found agricultural employers highly valued team competence for managing complex farming operations, but revealed a significant gap between expectations and agricultural graduates' competencies. A. Komissarov et al. [40; 41] identified stress resistance, result orientation, agricultural planning, and adherence to agricultural safety protocols as key competencies valued by agribusiness employers.

In Nigeria's agricultural sector, T. Ayodele et al. [42] found high employer expectations for soft skills like responsibility, business administration, stakeholder communication, agricultural business negotiation, and work ethics, with significant skill gaps in areas such as responsibility and agricultural problem-solving. U.C. Okolie et al. [43] found that agricultural entrepreneurship education positively associated with key competencies like agricultural opportunity recognition and creative problem-solving in farming operations. A.O. Binuyo et al. [24] highlighted the importance of social innovation in agricultural skill acquisition.

In Belarus's agro-industrial sector, A. García-Aracil et al. [6] identified 24 competencies valued by agricultural employers, grouped into agricultural entrepreneurship, leadership in farming operations, interdisciplinary agricultural knowledge, cognitive abilities, and adaptability to changing agricultural conditions. Employers prioritize agricultural job-related skills, farmer-stakeholder relationship skills, and agricultural management skills. However, R. Isusi-Fagoaga et al. [10] found a lack of attention to agricultural entrepreneurial and transversal competencies in Belarusian agricultural education.

To address these challenges, Belarus implemented initiatives like the EU-funded ERASMUS+ project [51] to enhance modern agricultural competencies. D. Bylaite-Šalavejiene and A. García-Aracil [50] propose promoting competency-based agricultural education, emphasizing both domain-specific farming skills and transversal competencies. Y. Kalesnik et al. [20] identified areas for improvement in Belarusian universities, including soft skills development for agricultural teachers and students, aligning with trends in Russia and Nigeria.

E.V. Bocharova [28] rightly indicates that ensuring agro-industrial complex competitiveness faces serious concerns due to insufficient SME effectiveness, stemming from both unfavorable socio-economic conditions and inadequate specialist training. In conditions of reduced agricultural employment, professional competence becomes critical for job security. Bocharova [28] developed a system of basic cultural and professional competencies reflecting modern work requirements. However, the study didn't fully explore the relationship between worker competencies and university training programs.

#### Comparing Russia, Belarus and Nigeria

In Russia, employers value both hard and soft skills, with T. Kamarova [38] noting a shift towards soft skills since 2000. V. Lizunkov et al. [39] found employers highly valued team competence, while A. Komissarov et al. [40] identified stress resistance and result orientation as key competencies.

In Nigeria, T. Ayodele et al. [42] found high employer expectations for soft skills like responsibility and communication. U. C. Okolie et al. [43] linked entrepreneurship education to key competencies like opportunity recognition.

In Belarus, A. García-Aracil et al. [23] identified 24 employer-valued competencies in five categories. However, R. Isusi-Fagoaga et al. [10] found a lack of attention to entrepreneurial and transversal competencies in higher education.

To address these challenges, Belarus implemented initiatives like the EU-funded ERASMUS+ project [35; 51]. D. Bylaite-Šalavejiene and A. García-Aracil [18] propose promoting competency-based education, while Y. Kalesnik et al. [20] identified areas for improvement in Belarusian universities.

Despite the relevance of the stated issues, at the same time, to our great regret, we have to state that we have not found similar studies in relation to the field of agriculture and agricultural universities in the literature available to us.

#### Methodology

This study employed a mixed-methods approach to assess agrarian university – SME in AIC collaboration and employer satisfaction with graduate competencies in Russia, Belarus, and Nigeria. These countries were selected due to their status as major emerging economies with growing SME sectors and reforming higher education systems [7; 44].

The study population consisted of AIC SME employers and agrarian university students in all three countries. A purposive sampling technique was used [43], with 66 SME representatives sampled in Russia, 40 in Belarus, and 44 in Nigeria.

Primary data was collected through expert surveys from May 2023 to September 2024. The Russian and Belarus employer survey included 46 thematic questions and 10 employer-specific questions, while the Ni-

gerian survey had 22 thematic and 8 employer-specific questions. Student surveys were also conducted in all countries.

Data analysis employed Structural Equation Modeling (SEM) for objective one and Principal Component Analysis (PCA) for objective two. SEM was chosen for its ability to analyze multiple variables simultaneously [43], measure latent constructs [45], test causal relationships [46], and account for measurement error.

#### Main hypotheses

H1: University-SME collaboration positively influences graduate competencies.

H2: Graduate competencies positively influence employer satisfaction.

H3: University-SME collaboration directly positively influences employer satisfaction.

H4: Innovation level positively influences University-SME collaboration.

H5: Company size positively influences University-SME collaboration.

#### Secondary hypotheses

H6: There is a positive correlation between University-SME collaboration and innovation level.

H7: There is a positive correlation between graduate competencies and innovation level.

H8: There is a positive correlation between employer satisfaction and company sizes.

#### Mediation hypotheses

H9: Graduate competencies mediate the relationship between University-SME collaboration and employer satisfaction.

#### Country-specific hypotheses

H10: The strength of the relationship between University-SME collaboration and graduate competencies will be stronger in Russia compared to Nigeria.

H11: The direct effect of University-SME collaboration on employer satisfaction will be stronger in Nigeria compared to Russia.

Principal component analysis (PCA) is suitable for identifying key graduate competencies valued by AIC SMEs in Russia and Nigeria. It reduces correlated competencies into uncorrelated components, revealing crucial skills sought by employers. PCA synthesizes data into principal components, providing a clear framework for understanding core competencies driving SME hiring decisions [46; 47; 48]. Therefore the hypothesized relationship for the Principal Component Analysis is specified as follows:

#### Overall structure hypothesis

H12: The graduate competencies valued by AIC SMEs in Russia, Belarus and Nigeria will form a four-component structure, representing distinct but related skill sets.

It is important to note that the Innovation Level refers to the combined measure of an organization's technological advancement, research and development activities, implementation of new processes or prod-



ucts, and digital transformation initiatives, as assessed through a composite score ranging from 0–100 based on employers' self-reported data in the survey. Graduate competencies were measured using a standardized 5-point Likert scale assessment of twelve key attributes (technical skills, problem-solving, critical thinking, digital literacy, communication skills, teamwork, adaptability, innovation mindset, entrepreneurial skills, cross-cultural competence, ethical judgment, and social responsibility) as evaluated by employers through the survey instrument. While employer satisfaction was measured through a composite index combining employers' ratings on a 5-point Likert scale across multiple dimensions including graduates' job performance, skill application, workplace readiness, and contribution to organizational goals in agro-industrial complex.

### Results

Table 1 reflects characteristics of innovative and technological companies in Russia and Nigeria. In

Russia, small businesses predominate (83 %), while Nigeria shows a more balanced distribution [1]. Belarus demonstrates a similar pattern to Russia, with 78 % small enterprises [39]. Legal structures and gender distributions vary significantly, with Russia and Belarus showing male-dominated business environments and Nigeria displaying more diversity [10; 49].

Belarus's business landscape reflects its economic transition, with growing need for market-oriented competencies in higher education graduates [10]. The ICT in AIC is growing rapidly, necessitating improved dialogue between industry and higher education institutions.

A second survey targeted student youth using an author-designed questionnaire. Students from universities in various Russian, Belarusian, and Nigerian cities participated from May 2023 to September 2024. In Belarus, this aligns with competencies development efforts like the FOSTERC project [4; 50].

Table 1  
Characteristics of the first respondents' target audience, %

Indicator	Russia (N = 66)	Belarus (N = 66)	Nigeria (N = 40)
<b>1. Type of business</b>			
Small business	83	78	36.4
Medium business	17	22	27.3
Large business	–	–	22.7
<b>2. Legal form of business</b>			
Limited liability company	52	48	18.2
Individual entrepreneurs	34	38	4.5
Self-employed	8	10	18.2
Other types	6	4	59.1
<b>3. Gender distribution of employers</b>			
Men	69.7	65	31.8
Women	30.3	35	27.3
Prefer not to say	–	–	40.9
<b>4. Company location</b>			
Metropolis (regional center)	72.7	68	31.8
City/District center	22.7	26	22.7
Rural area / countryside	4.6	6	13.6
Other	–	–	31.8
<b>5. Respondent status in the company</b>			
Business owners, founders	71.2	68	13.6
Deputy heads of the company	16.6	19	18.2
Department heads	11.2	12	13.6
Other employees	1.0	1	54.5
<b>6. Annual company income</b>			
Less than 100 million rubles	45.5	48	–
121–800 million rubles	19.7	22	–
N 500,001 – N 1 million	–	–	9.1
N 1 million – N 5 million	–	–	13.6
More than N 5 million	–	–	13.6
Refused to answer / Not available	23.2	20	63.6

Note. Here and below N refers to the total number of respondents.

Source: computed by the authors.

Table 2  
Characteristics of the second target audience of respondents, %

Indicator	Russia (N = 66)	Belarus (N = 66)	Nigeria (N = 40)
<b>1. Gender distribution of students</b>			
Men	44.7	46	31.8
Women	55.3	54	27.3
Prefer not to say	–	–	40.9
<b>2. Age distribution of student youth</b>			
16–18	35.3	33	15.0
19–20	32.9	34	25.0
21–22	19.2	20	30.0
23–25	6.4	7	20.0
26–29	2.4	3	7.0
31–35	1.6	2	2.0
36 and older	2.2	1	1.0
<b>3. Source of funding for university education</b>			
Budget/Government support	48.3	50	15.0
Paid by parents	32.0	30	40.0
Self-funded	10.7	12	30.0
Paid by company	4.8	5	10.0
Other sources	4.2	3	5.0
<b>4. Sources of student income</b>			
Scholarship	43.4	45	20.0
Salary	42.8	40	35.0
Money from parents/friends	62.5	60	70.0
Savings	31.3	33	25.0
Rental income	10.8	9	5.0
Pension and social benefits	0.3	0.5	1.0
Other	53.8	50	15.0
<b>5. Distribution of Student Youth by Income</b>			
Level 1 “Underprivileged”	9.4	10	15.0
Level 2 “Low-income”	16.5	18	25.0
Level 3 “Middle-income”	36.7	38	40.0
Level 4 “Well-off”	26.9	25	15.0
Level 5 “Rich”	10.5	9	5.0

\* Note. It was possible to select multiple responses.

Source: computed by the authors

Table 2 compares student characteristics in Russia, Belarus, and Nigeria. Russia and Belarus shows a slight gender imbalance favoring women (55.3 % and 54 %), while Nigeria has a more balanced distribution [6]. Russian and Belarusian students are generally younger, with 68.2 % and 67 % aged 16–20 [7; 10].

Funding sources differ significantly. Russian and Belarusian students rely more on government support (48.3 % and 50 %), while Nigerian students depend on parental support (40 %) and self-funding (30 %) This reflects different approaches to higher education funding.

Income sources vary, with Russian and Belarusian students having more diverse options, including scholarships and salaries, while Nigerian students rely heavily on parental support. Income distribution shows a predominant middle-income group in all countries, but Russia and Belarus have a higher percentage of “well-off” students [45].

These findings highlight the need for tailored approaches to enhance graduate employability and university-industry collaboration. For Belarus, recent studies emphasize developing both hard and soft skills to meet labor market demands [10].

Figure 2 illustrates priority differences between employers and students in Russia, Nigeria, and Belarus regarding life and work aspects.

In Russia, major discrepancies exist in “Freedom in various spheres of life” and “Financial well-being”, with employers rating these higher [1]. Russian students prioritize “Family and children” and “Health” more.

Nigeria shows significant disparities in “Interesting work” and “Financial well-being”, with employers rating these higher. Nigerian students also prioritize “Family and children” and “Health” more [7].

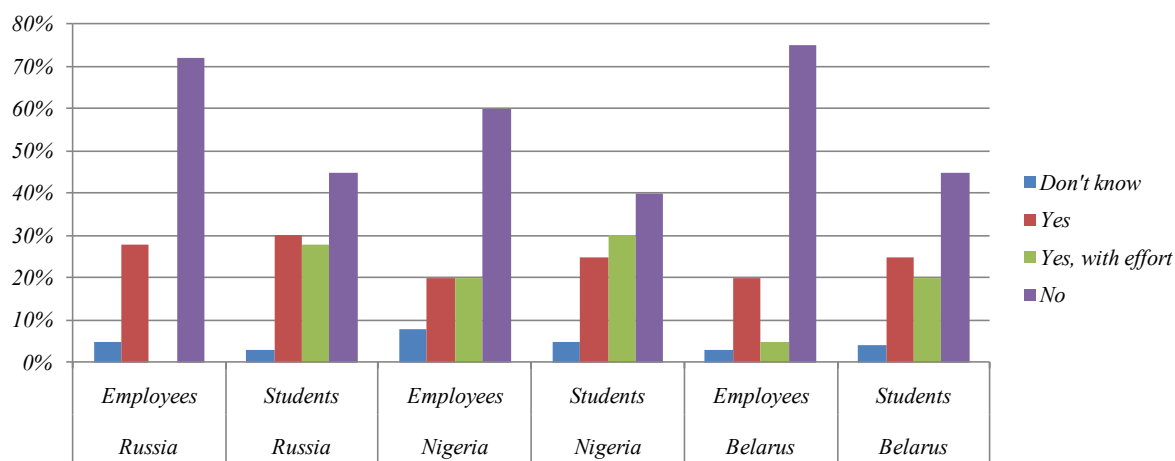


Fig. 2. The answers of the respondents of the first and second target audience to the question: "Is higher education a guarantee of success in life today?", %  
Source: computed by the authors

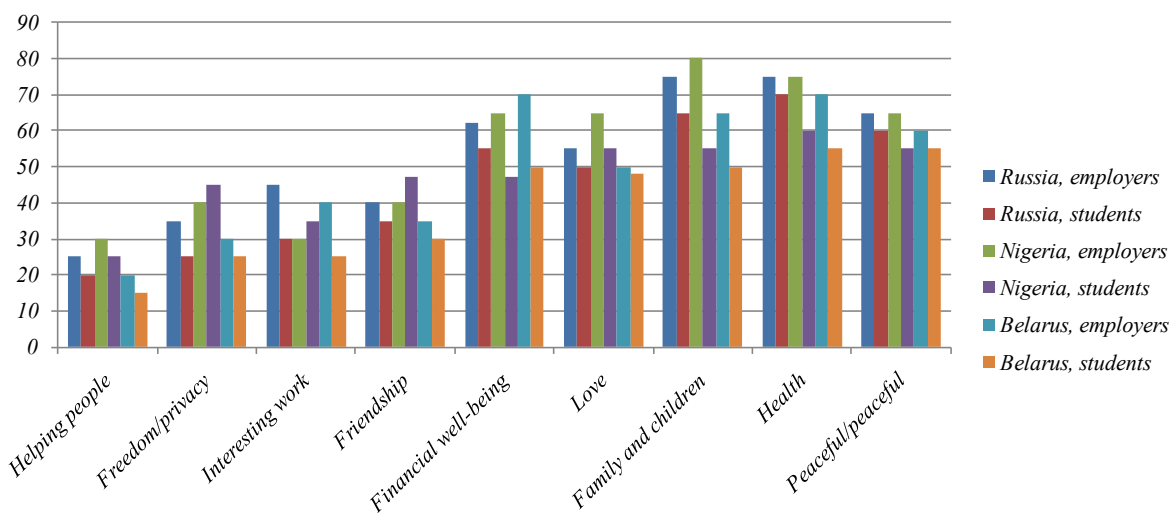


Fig. 3. The answers of the respondents of the first and second target audience to the question: "What is the most important thing for you in life?", %  
Source: computed by the authors

In Belarus, only 22 % of employers believe higher education guarantees success, compared to 28 % of students. Notably, 71 % of employers and 45 % of students are skeptical about higher education's success guarantee [6; 10].

These misalignments highlight the need for improved communication between higher education institutions, students, and employers.

As noted in our previous study, "...education is a way of thinking for a person"; "...the more multifaceted this way of thinking is, the more vivid the individual's personal and professional life becomes"; "...a good higher education is a guarantee of a person's success in life" [31].

Figure 3 reveals significant differences in perceptions of higher education across Russia, Nigeria, and Belarus, and between students and employers. In Russia, 72 % of employers don't view higher education as a guarantee of success, compared to 45 % of students [1]. Nigeria shows more optimism, with 60 % of employers

and 42 % of students seeing higher education as not guaranteeing success [42]. Belarus presents a similar pattern to Russia, with 80 % of employers and 60 % of students not seeing higher education as a success guarantee [6].

This skepticism points to potential issues in aligning university curricula with labor market needs [41]. For Belarus, R. Isusi-Fagoaga et al. [10] found a lack of attention to entrepreneurial and transversal competencies, suggesting a disconnect between academic training and societal needs. Initiatives like the FOSTERC project aim to address these gaps [51].

#### Structural Equation Model: University-SME collaboration and employer satisfaction

The structural equation model aligns with the triple helix framework [64], illustrating relationships between university-SME collaboration, graduate competencies, and employer satisfaction in Russia, Nigeria, and Belarus (Figure 4).

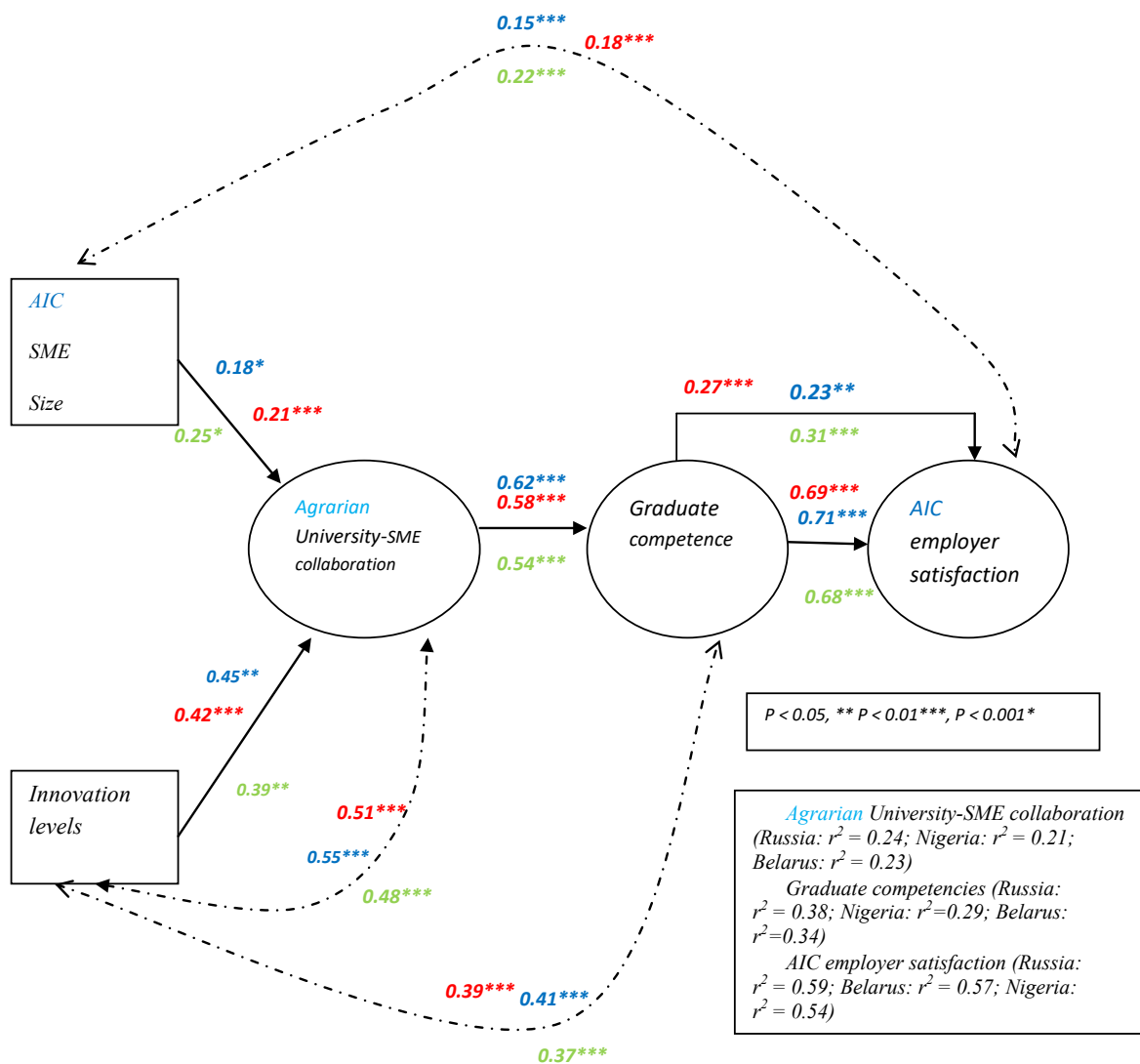


Fig. 4. SEM path diagram  
 Note. Coefficients in blue, red and green are for Russia, Belarus and Nigeria respectively  
 Source: computed by the authors

Table 3  
 Model fit indices

Index	Russia	Nigeria	Belarus
Chi-square/df	2.34	2.87	2.61
CFI	0.942	0.923	0.933
TLI	0.935	0.911	0.924
RMSEA	0.056	0.068	0.062
SRMR	0.043	0.052	0.048

Source: computed by the authors.

University-SME collaboration strongly influences graduate competencies across all countries [ $\beta = 0.62$  for Russia, 0.54 for Nigeria, 0.58 for Belarus], supporting research on partnerships enhancing employability [1]. Graduate competencies significantly impact employer satisfaction [ $\beta = 0.71$  for Russia, 0.68 for Nigeria, 0.69 for Belarus] (Table 4), aligning with studies on employability skills meeting employer expectations [8].

Innovation level moderately affects university-SME collaboration [ $\beta = 0.45$  for Russia, 0.39 for Nige-

ria, 0.42 for Belarus], consistent with the Triple Helix Model. Company size has a lesser influence [ $\beta = 0.18$  for Russia, 0.25 for Nigeria, 0.21 for Belarus].

The model fit indices (Table 3) indicate acceptable fit across countries. Latent variable correlations (Table 5) support the connection between partnerships and innovation.

For Belarus, findings align with recent research highlighting the need for higher education reforms and quality improvements [10].



Table 4

## Path coefficients

Path	Russia ( $\beta$ )	Nigeria ( $\beta$ )	Belarus ( $\beta$ )
University-SME collaboration $\rightarrow$ graduate competencies	0.62***	0.54***	0.58***
Graduate competencies $\rightarrow$ employer satisfaction	0.71***	0.68***	0.69***
University-SME collaboration $\rightarrow$ employer satisfaction	0.23**	0.31***	0.27**
Innovation level $\rightarrow$ University-SME collaboration	0.45***	0.39***	0.42***
Company Size $\rightarrow$ University-SME collaboration	0.18*	0.25**	0.21*

Note. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

Source: computed by the authors.

Table 5

## Latent variable correlations

Variables	Russia	Nigeria	Belarus
University-SME collaboration $\leftrightarrow$ innovation level	0.53***	0.48***	0.51***
Graduate competencies $\leftrightarrow$ innovation level	0.41***	0.37***	0.39***
Employer satisfaction $\leftrightarrow$ company size	0.15*	0.22**	0.18*

Note. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

Source: computed by the authors.

Table 6

## R-squared values

Variable	Russia	Nigeria	Belarus
Graduate competencies	0.38	0.29	0.34
Employer satisfaction	0.59	0.54	0.57
University-SME collaboration	0.24	0.21	0.23

Source: computed by the authors.

### Principal Component Analysis: graduate competencies valued by SMEs

The Principal Component Analysis (PCA) of graduate competencies valued by SMEs in Russia, Nigeria, and Belarus, as presented in Tables 7 and 8, reveals four principal components explaining over 75 % of the variance in all three countries, indicating a robust factor structure.

The first component, “Technical and Analytical Skills”, accounts for the largest proportion of variance (32.08 % in Russia, 30.17 % in Nigeria, 31.08 % in Belarus). It encompasses technical skills, problem-solving, critical thinking, and digital literacy, with high factor loadings (0.71–0.82) [1; 6]. This aligns with the growing demand for graduates with strong analytical and technical capabilities [52].

The second component, “Interpersonal Skills”, explains about 20 % of the variance, comprising communication skills, teamwork, and adaptability (factor loadings 0.73–0.81) [8].

“Innovation and Global Mindset”, the third component, accounts for approximately 15 % of the variance, including innovation mindset, entrepreneurial skills, and cross-cultural competence (factor loadings 0.71–0.79) [12].

The fourth component, “Ethical and Social Awareness”, explains about 10 % of the variance, comprising ethical judgment and social responsibility (factor loadings 0.80–0.85).

The similarity in factor structures across countries suggests a convergence in competencies valued by SMEs across different contexts, aligning with human capital theory. However, the emphasis on interpersonal

skills and cross-cultural competence underscores the role of social capital theory in graduate employability [1].

### Discussion and Conclusion

The findings reveal significant opportunities and challenges in enhancing agrarian university – AIC SME collaboration through employer satisfaction studies in Russia, Nigeria, and Belarus. All three countries face issues aligning higher education outcomes with labor market needs, though specific contexts differ.

In Russia, initiatives like Project 5-100 have increased university-industry cooperation [3]. However, gaps remain between employer expectations and graduate competencies, as Lizunkov V. et al. [9] found low to average team competence among graduates despite high employer valuation.

Nigeria presents more fundamental challenges, with Nwajiuba C. A. et al. [7] highlighting minimal collaboration between higher education institutions and agro-industrial business, and lacking infrastructure to teach employability skills effectively.

Belarus, transitioning to a market economy, shows a disconnection between higher education outcomes and societal needs, particularly in entrepreneurial and transversal competencies [10].

Structural equation modeling results underscore the importance of agrarian university and AIC SME collaboration in all three countries for enhancing graduate competencies and employer satisfaction. The strong positive effect of collaboration on graduate competencies [ $\beta = 0.62$  for Russia,  $\beta = 0.54$  for Nigeria,  $\beta = 0.58$  for Belarus] aligns with research showing university and agro-industrial partnerships can improve graduate employability [1].

Table 7  
Eigen values and variance explained

Component	Russia			Nigeria			Belarus		
	Eigen value	% of Variance	Cumulative %	Eigen value	% of Variance	Cumulative %	Eigen value	% of Variance	Cumulative %
1	3.85	32.08	32.08	3.62	30.17	30.17	3.73	31.08	31.08
2	2.41	20.08	52.16	2.53	21.08	51.25	2.47	20.58	51.66
3	1.76	14.67	66.83	1.89	15.75	67.00	1.82	15.17	66.83
4	1.12	9.33	76.16	1.24	10.33	77.33	1.18	9.83	76.66

Source: computed by the authors.

Table 8  
Rotated Component Matrix

Competency	Russia				Nigeria				Belarus			
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4
Technical skills	<b>0.82</b>	0.14	0.22	0.11	<b>0.78</b>	0.19	0.25	0.15	<b>0.80</b>	0.16	0.23	0.13
Problem-solving	<b>0.79</b>	0.28	0.18	0.09	<b>0.75</b>	0.31	0.22	0.12	<b>0.77</b>	0.29	0.20	0.10
Critical thinking	<b>0.77</b>	0.32	0.15	0.13	<b>0.72</b>	0.35	0.18	0.17	<b>0.74</b>	0.33	0.16	0.15
Digital literacy	<b>0.75</b>	0.21	0.29	0.18	<b>0.71</b>	0.25	0.33	0.20	<b>0.73</b>	0.23	0.31	0.19
Communication skills	0.23	<b>0.81</b>	0.19	0.15	0.28	<b>0.79</b>	0.22	0.18	0.25	<b>0.80</b>	0.20	0.16
Teamwork	0.25	<b>0.78</b>	0.22	0.11	0.30	<b>0.76</b>	0.25	0.14	0.27	<b>0.77</b>	0.23	0.12
Adaptability	0.31	<b>0.76</b>	0.25	0.14	0.35	<b>0.73</b>	0.28	0.17	0.33	<b>0.74</b>	0.26	0.15
Innovation mindset	0.27	0.23	<b>0.79</b>	0.18	0.31	0.27	<b>0.75</b>	0.21	0.29	0.25	<b>0.77</b>	0.19
Entrepreneurial skills	0.24	0.19	<b>0.77</b>	0.22	0.28	0.23	<b>0.73</b>	0.25	0.26	0.21	<b>0.75</b>	0.23
Cross-cultural competence	0.21	0.25	<b>0.75</b>	0.24	0.25	0.29	<b>0.71</b>	0.27	0.23	0.27	<b>0.73</b>	0.25
Ethical judgment	0.17	0.13	0.20	<b>0.85</b>	0.21	0.17	0.24	<b>0.82</b>	0.19	0.15	0.22	<b>0.83</b>
Social responsibility	0.14	0.16	0.25	<b>0.83</b>	0.18	0.20	0.28	<b>0.80</b>	0.16	0.18	0.26	<b>0.81</b>

Note. Component labels: PC1: Technical and Analytical Skills, PC2: Interpersonal Skills, PC3: Innovation and Global Mindset, PC4: Ethical and Social Awaren.

Source: computed by the authors.

Principal component analysis reveals similarities in valued graduate competencies across the countries, with technical/analytical skills, interpersonal skills, innovation mindset, and ethical awareness emerging as key components. This convergence suggests some universal employer expectations, aligning with human capital theory.

Ensuring food security has always been and is the most important task of the socio-economic development of any country. Agricultural universities in cooperation with representatives of the agricultural business play a special role in maintaining a balance of interests in this context. That is why the study of partnerships between universities and SMEs in various economic contexts is extremely important, especially in the field of agriculture.

Our study of agrarian universities and SME collaboration in the AIC across Russia, Belarus, and Nigeria reveals critical insights for improving sectoral higher education outcomes and economic development. The research addresses a significant gap in understanding how these partnerships influence graduate competencies and employer satisfaction in different economic contexts.

Key findings demonstrate that sectoral university-SME collaboration significantly impacts graduate competencies ( $\beta = 0.62$  for Russia,  $\beta = 0.54$  for Nigeria,  $\beta = 0.58$  for Belarus) and employer satisfaction

( $\beta = 0.71$  for Russia,  $\beta = 0.68$  for Nigeria,  $\beta = 0.69$  for Belarus). The study identified four crucial competency components: technical/analytical skills, interpersonal skills, innovation mindset, and ethical awareness, explaining over 75 % of variance across all three countries.

The impact of this research extends beyond academia, offering practical insights for policymakers and educational institutions. The findings support the relevance of the Triple Helix Model, Human Capital Theory, and Social Capital Theory in understanding university-SME collaborations in the agricultural sector.

Future research should focus on developing targeted interventions to enhance collaboration effectiveness in different national contexts, particularly in agricultural education. Additionally, longitudinal studies examining the long-term impact of university-SME partnerships on agricultural sector development and investigation of digital competencies in agricultural education would be valuable areas for further exploration.

Based on the research findings, here are five practical recommendations:

**1. Establish structured collaboration frameworks.** Universities and agricultural SMEs should develop formal, systematic partnership programs with clear objectives, timelines, and responsibilities. This should include regular agro-industrial advisory meetings, structured internship programs, and joint research

projects focused on solving real agricultural business challenges. This recommendation is supported by the strong correlation between university-SME collaboration and graduate competencies ( $\beta > 0.54$  across all three countries).

**2. Redesign agricultural curriculum with AIC input in educational institutions.** Should regularly update their agricultural curricula by incorporating direct input from SME employers, focusing on the four key competency areas identified in the research: technical/analytical skills, interpersonal skills, innovation mindset, and ethical awareness. This should include practical, hands-on training modules designed in partnership with agricultural businesses.

**3. Create joint innovation platforms.** Develop shared physical and digital spaces where universities and agricultural SMEs can collaborate on innovation projects. This recommendation is based on the study's finding that innovation level significantly influ-

ences university-SME collaboration ( $\beta = 0.45$  Russia,  $\beta = 0.39$  Nigeria,  $\beta = 0.42$  Belarus) and should include technology transfer offices and agricultural innovation hubs.

**4. Implement competency-based assessment systems.** Develop assessment methods that evaluate students based on the specific competencies valued by agricultural employers, as identified in the PCA analysis. These assessments should incorporate practical demonstrations of skills and be validated by agro-industrial professionals to ensure alignment with market needs.

**5. Establish regional agricultural knowledge networks.** Create formal networks connecting universities, agricultural SMEs, and government agencies to facilitate knowledge exchange, resource sharing, and policy development. This recommendation is supported by the study's theoretical framework, particularly the Triple Helix Model, and should focus on creating sustainable, long-term partnerships that benefit all stakeholders.

### References

1. Arranz N., Arroyabe M. F., Sena V., Arranz C. F. A., Fernandez de Arroyabe J. C. University-enterprise cooperation for the employability of higher education graduates: a social capital approach. *Studies in Higher Education*. 2022; 47 (5): 990–999. DOI: 10.1080/03075079.2022.2055323.
2. Zaytsev D. Report on the results of the expert-analytical event “Analysis of the effectiveness of government support measures for Russian universities aimed at increasing their competitiveness among the world's leading scientific and educational centers”. Approved by the Board of the Accounts Chamber of the Russian Federation on February 2, 2021 [Internet] [cited 2024 Sep 20]. Available from: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/ab8/ab8e9ce46a64ed39020ff200d407dde1.pdf>. (In Russ.)
3. Matveeva N., Ferligoj A. Scientific collaboration in Russian universities before and after the excellence initiative Project 5-100. *Scientometrics*. 2020; 124: 2383–2407. DOI: 10.1007/s11192-020-03602-6.
4. Review of the state of the innovation infrastructure of the Union State of Russia and Belarus (research sector and higher education system) as a complex socio-economic system in conjunction with the labor market in the context of digitalization / Astratova G. V., Bengraf S. V., Simchenko N. A., Yanovskaya A. A.; Ural Federal University – Ekaterinburg – Moscow: Dep. to INION RAS, 2024. Accepted for deposition on 23.04.2024, No. 61161. 227 p. (In Russ.)
5. Klimuk V. V. Comparative analysis of science and innovation infrastructure development in Belarus and Russia in the union state model. *Issues of Innovation Economics*. 2023; 13 (1): 583–596. DOI: 10.18334/vinec.13.1.117513. (In Russ.)
6. García-Aracil A., Isusi-Fagoaga R. Appropriateness of education and employment. *Sustainability*. 2020; 12 (4): 55–61. DOI: 10.15823/su.2019.52.4.
7. Nwajiuba C. A., Igwe P. A., Akinsola-Obatolu A. D., Ituma A., Binuomote M. O. What can be done to improve higher education quality and graduate employability in Nigeria? *A Stakeholder Approach. Industry and Higher Education*, 2020; 34 (5): 358–367. DOI: 10.1177/0950422219901102.
8. García-Álvarez J., Vázquez-Rodríguez A. M., Quiroga-Carrillo A., Priegue Caamaño D. Transversal Competencies for Employability in University Graduates: A Systematic Review from the Employers' Perspective. *Education Sciences*. 2022; 12 (3). DOI: 10.3390/educsci12030204.
9. Lizunkov V. G., Politsinskaya E. V., Ergunova O. T. Development of team competence among graduates of technical universities based the basis of collaborative learning. *Prospects of Science and Education*. 2021; 1 (49): 92–112. DOI: 10.32744/pse.2021.1.7. (In Russ.)
10. Isusi-Fagoaga R., García-Aracil A., Navarro-Milla I. Impact of teaching-learning approaches on graduates' learning outcomes: evidence in Belarus. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*. 2023; 13 (3): 606–622. DOI: 10.1108/heswbl-03-2023-0056.
11. Otache I. Enhancing graduates' employability through polytechnic–industry collaboration. *Industry and Higher Education*. 2021; 35 (3): 180–191. DOI: 10.1177/09504222211063140.

12. Borah D., Malik K., Massini S. Teaching-focused university–industry collaborations: Determinants and impact on graduates’ employability competencies. *Research Policy*. 2021; 50 (7): 104172. DOI: 10.1016/j.respol.2020.104172.
13. Osakede U. A., Lawanson A. O. Sobowale D. A. Entrepreneurial interest and academic performance in Nigeria: evidence from undergraduate students in the University of Ibadan. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2017; 6 (19). DOI: 10.1186/s13731-017-0079-7.
14. Leydesdorff L., Etzkowitz H. Triple Helix of innovation: introduction. *Science and Public Policy*. 1998; 25 (6): 358–364.
15. Klemeshev A. P., Kudryashova E. V., Sorokin S. E. Stakeholder approach to the implementation of the “Third Mission” of universities. *Baltijskij Region*. 2019; 4: 114–135. DOI: 10.5922/2079-8555-2019-4-7. (In Russ.)
16. Vasilevska A. A., Sovik L. E. Innovative industrial clusters in Belarus: conditions for creation and models of formalized representation. *Economy and Banks* [Internet]. 2019 [cited 2024 Sep 20]; 2: 62–72. Available from: [https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/16789/1/Vasilevska\\_AA\\_Sovik\\_LE\\_Innovatsionno-promyshlennnye%20klastery%20v%20Belarusi\\_usloviia%20sozdaniia%20i%20modeli%20formalizovannogo%20predstavleniia.pdf](https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/16789/1/Vasilevska_AA_Sovik_LE_Innovatsionno-promyshlennnye%20klastery%20v%20Belarusi_usloviia%20sozdaniia%20i%20modeli%20formalizovannogo%20predstavleniia.pdf). (In Russ.)
17. Satkeeva A. B., Ulanova K. L., Filistova N. Yu., et al. Information and communications technology in distance assessment of learning outcomes in linguistics students. *Revista EntreLinguas*. 2022; 8 (S1): 022004. DOI: 10.29051/el.v8iesp.1.16914.
18. Bylaite-Šalavejiene D., García-Aracil A. Promoting competency-based education in Belarusian higher education. *Sustainability*. 2020; 11 (1): 45–59. DOI: 10.15823/su.2019.51.2.
19. Morozova M. V., Zakharova A. A., Lizunkov V. G. Cooperation of universities with small and medium-sized businesses. *Professional Education in Russia and Abroad*. 2021; 4 (44): 20–29. (In Russ.)
20. Kalesnik Y., Kleiman V., Vasicheva V. Directions for improving the quality of education in Belarusian universities (sociological analysis). *Geopolitical Social Security and Freedom Journal*. 2020; 3 (1): 83–93. DOI: 10.2478/gssfj-2020-0004.
21. Avdeeva D. A. *The Contribution of human capital to the growth of the Russian economy*. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2023. 42 p. (In Russ.)
22. Simchenko N. A., Astratova G. V., Klimuk V. V. Creative human capital and assessment of its manifestation in organizational behavior in the context of digitalization of higher education. *Prospects of Science and Education*. 2023; 6 (66): 647–672. DOI: 10.32744/PSE.2023.6.38. (In Russ.)
23. García-Aracil, A., Isusi-Fagoaga, R., Navarro-Milla, I. Appropriateness of education and employment. *Sustainability*. 2019; 12 (4): 1490. DOI: 10.15823/su.2019.52.4.
24. Binuyo A. O., Adefulu A. D., Asikhia O. U., Odumosu A. A. Social innovation and skill acquisition among university graduates in Nigeria. *International Journal of Innovative Research and Development*. 2020; 9 (2). DOI: 10.24940/ijird/2020/v9/i2/FEB20094.
25. Proka N. I. Investments in the development of human capital of the agro-industrial complex in the AIC. *Vestnik OrelGAU*. 2021; 3 (90): 146–152. (In Russ.)
26. Nuzhdin R. V. Classification of business relations in stakeholder management of agricultural production organizations. *Territory of Science*. 2016; 6: 79–84. (In Russ.)
27. Kucherov A. S. Improving the forms of interaction between agricultural universities, rural schools and agricultural producers as a condition for increasing the level of personnel support for the agro-industrial complex of the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011; 8: 74–75. (In Russ.)
28. Bocharova E. V. Competency system of agro-industrial complex workers. *Historical and Socio-Educational idea*. 2017; 5-1: 133–140. (In Russ.)
29. Petrov M. A. Stakeholder theory: ways of practical application. *Vestnik of Saint Petersburg University. Management*. 2004; 2: 51–68. (In Russ.)
30. Abramova O. A. Socio-psychological portrait of a Russian IT entrepreneur. *Social Psychology and Society*. 2021; 12 (3): 188–204. DOI: 10.17759/sps.2021120312. (In Russ.)
31. Astratova G. V., Izmaylov A. M., Semenov M. M., Mitro M. S. Problems of values and choice of educational services of student youth in the context of digitalization of the economy (preliminary analysis). *Bulletin of Eurasian Science* [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 18]; 15 (3). URL: <https://esj.today/PDF/50ECVN323.pdf>. (In Russ.)
32. Efremova P. V. Indicators for assessing the effectiveness of the universities innovative activity development. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2019; 9 (3): 989–1010. DOI: 10.18334/vinec.9.3.41001. (In Russ.)
33. Udaltsova N. L., Krutskikh D. A. Features of the formation and development of the innovation system of Russia in the context of the “Triple Helix”. *Issues of Innovation Economics*. 2021; 11 (1): 33–46. DOI: 10.18334/vinec.11.1.111894. (In Russ.)



34. Daineko L. Fostering professional competencies of students with the new approaches in higher education. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*. 2020. DOI: 10.15405/epsbs.2020.12.03.24.
35. Teslenko V., Melnikov R. Prospects for collaborative industrial doctoral education in Russia. *Higher Education in Russia*. 2020. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-5-157-167. (In Russ.)
36. Moemeni A., Gatward R., Kankeviciene L., Pyko A. Revising ICT programmes through learning outcome alignment: a practical exercise in Belarusian Universities. In: A. Paturzo, L. Stough (Eds.) *Communications in Computer and Information Science*. 2019: 3–14. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-28251-6.
37. Fedotov A. S., Fedotov A. K., Tolstik A., Zabasta A., Zhiravecka A., Kunicina N., Ribickis L. Evaluation of market needs in Belarus for improvement of master-level education in the field of physical sciences 2016. *57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. Riga, Latvia, 2016. DOI: 10.1109/RTUCON.2016.7763148.
38. Kamarova T. Necessary competences of students and university graduates for successful employment. *Science Vector of Togliatti State University. Series Economy and Management*. 2021; 4: 25–35. DOI: 10.18323/2221-5689-2021-4-25-35. (In Russ.)
39. Lizunkov V., Politsinskaya E., Ergunova O. Development of team competence among graduates of technical universities on the basis of collaborative learning. *Perspectives of Science and Education*. 2021; 49 (1): 92–112. DOI: 10.32744/pse.2021.1.7. (In Russ.)
40. Komissarov A., Stepashkina E. A., Sobolevac O. B., Guzhelya D., Selezneva P. S. General results of assessment of supraprofessional competencies of 1<sup>st</sup> – 4<sup>th</sup> year students. *Humanities and Social Sciences. Bulletin of the Financial University*. 2023; 13 (2). DOI: 10.26794/2226-7867-2023-13-2-56-71. (In Russ.)
41. Afonina R. N. Professional meta-subject competencies of a teacher as an element of the planned learning outcome of students of a pedagogical university. *Prospects of Science*. 2023; 4 (163): 260–262. (In Russ.)
42. Ayodele T., Oladokun T., Kajimo-Shakantu K. Employability skills of real estate graduates in Nigeria: a skill gap analysis. *Journal of Facilities Management*. 2020; 18 (3). DOI: 10.1108/jfm-04-2020-0027.
43. Okolie U. C., Igwe P. A., Ayoola A. A., Nwosu H. E., Kanu C., Mong I. K. Entrepreneurial competencies of undergraduate students: The case of universities in Nigeria. *The International Journal of Management Education*. 2021; 19 (1): 100452. DOI: 10.1016/j.ijme.2021.100452.
44. Zeng S. X., Xie X. M., Tam C. M. Relationship between cooperation networks and innovation performance of SMEs. *Technovation*. 2010; 30 (3): 181–194. DOI: 10.1016/j.technovation.2009.08.003.
45. Hussey D., Eagan P. Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: Can SEM help SMEs? *Journal of Cleaner Production*. 2007; 15 (4): 303–312. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.12.002.
46. Pereira R., Franco M. Cooperation between universities and SMEs: A systematic literature review. *Industry and Higher Education*. 2021; 35 (3): 275–285. DOI: 10.1177/0950422221995114.
47. O'Regan M., Carthy A., McGuinness C., Owende P. Employer collaboration in developing graduate employability: a pilot study in Ireland. *Education + Training*. 2022; 64 (8): 1000–1018. DOI: 10.1108/et-03-2022-0081.
48. Vătămănescu E. M., Cegarra-Navarro J., Andrei A. G., Dincă V., Alexandru V. A. SMEs strategic networks and innovative performance: a relational design and methodology for knowledge sharing. *Journal of Knowledge Management*. 2020; 24 (6): 1369–1392. DOI: 10.1108/jkm-01-2020-0010.
49. Akinnuwesi B., Odumabo A., Aribisala B. S. Knowledge grid: an intelligent system for collaboration and knowledge management in Nigerian universities. *Data Science Journal*. 2020; 19 (1): 2. DOI: 10.5334/dsj-2020-002.
50. Sidorova A. A. Cooperation between universities and business cooperation: directions of interaction. *Herald of the Russian University of Peoples' Friendship. Series: Economics*. 2019; 27 (2): 290–302. DOI: 10.22363/2313-2329-2019-27-2-290-302. (In Russ.)
51. Bylaite-Salavejiene D. Educational innovations in Eastern countries 2020 Final Conference of Erasmus + project Fostering Competencies Development in Belarusian Higher Education. *Creativity and Educational Innovation Review (CEIR)*, 2020; 13 (1): 232–235. DOI: 10.7203/CREATIVITY.3.16587.
52. Ayodele T., Oladokun T., Kajimo-Shakantu K. Employability skills of real estate graduates in Nigeria: a skill gap analysis. *Journal of Facilities Management*. 2020; 8 (3). DOI: 10.1108/jfm-04-2020-0027.

### Authors' information

**Galina V. Astratova**, doctor of economic sciences, candidate of technical sciences, professor, professor of the department of integrated marketing communications and branding, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-3579-4440, AuthorID 263754.  
E-mail: galina\_28@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*

**Chigozirim N. Onwusiribe**, PhD, postdoc, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-7740-5458 *E-mail: ndubuisichigo@gmail.com*

**Ayrat M. Izmaylov**, candidate of economic sciences, associate professor of the department of digital economy, Volga Region State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia; associate professor of the department of scientific and innovative technologies in healthcare, Samara State Medical University Samara, Russia; ORCID 0000-0002-5193-1994, AuthorID 634963. *E-mail: airick73@bk.ru*

#### Библиографический список

1. Arranz N., Arroyabe M. F., Sena V., Arranz C. F. A., Fernandez de Arroyabe J. C. University-enterprise cooperation for the employability of higher education graduates: a social capital approach // *Studies in Higher Education*. 2022. Vol. 47, No. 5. Pp. 990–999. DOI: 10.1080/03075079.2022.2055323.

2. Зайцев Д. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ эффективности мер государственной поддержки российских университетов, направленных на повышение их конкурентоспособности среди ведущих мировых научнообразовательных центров». Утвержден Коллегией Счетной палаты Российской Федерации 2 февраля 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/ab8/ab8e9ce46a64ed39020ff200d407dde1.pdf> (дата обращения: 20.09.2024).

3. Matveeva N., Ferligoj A. Scientific collaboration in Russian universities before and after the excellence initiative Project 5-100 // *Scientometrics*. 2020. Vol. 124. Pp. 2383–2407. DOI: 10.1007/s11192-020-03602-6.

4. Обзор состояния инновационной инфраструктуры Союзного государства России и Беларуси (научно-исследовательский сектор и система высшего образования) как сложной социально-экономической системы во взаимосвязи с рынком труда в условиях цифровизации / Г. В. Астратова, С. В. Бенграф, Н. А. Симченко, А. А. Яновская; Уральский федер. ун-т. – Екатеринбург – Москва: Деп. В ИНИОН РАН, 2024. Принята на депонирование 23.04.2024 г. № 61161. 227 с.

5. Климук В. В. Сравнительный анализ развития научно-инновационной инфраструктуры Беларуси и России в модели Союзного государства // *Вопросы инновационной экономики*. 2023. Т. 13, № 1. С. 583–596. DOI: 10.18334/vinec.13.1.117513.

6. García-Aracil A., Isusi-Fagoaga R. Appropriateness of education and employment // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 4. Pp. 55–61. DOI: 10.15823/su.2019.52.4.

7. Nwajiuba C. A., Igwe P. A., Akinsola-Obatolu A. D., Ituma A., Binuomote M. O. What can be done to improve higher education quality and graduate employability in Nigeria? // *A stakeholder approach. Industry and higher education*. 2020. Vol. 34, No. 5. Pp. 358–367. DOI: 10.1177/0950422219901102.

8. García-Álvarez J., Vázquez-Rodríguez A. M., Quiroga-Carrillo A., Priegue Caamaño D. Transversal Competencies for Employability in University Graduates: A Systematic Review from the Employers' Perspective // *Education Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 3. Article number 204. DOI: 10.3390/educsci12030204.

9. Лизунков В. Г., Полицинская Е. В., Ергунова О. Т. Развитие командной компетенции у выпускников технических вузов на базе коллаборативного обучения // *Перспективы науки и образования*. 2021. № 1 (49). С. 92–112. DOI: 10.32744/pse.2021.1.7.

10. Isusi-Fagoaga R., García-Aracil A., Navarro-Milla I. Impact of teaching-learning approaches on graduates' learning outcomes: evidence in Belarus // *Higher education, skills and work-based learning*. 2023. Vol. 13, No. 3. Pp. 606–622. DOI: 10.1108/heswbl-03-2023-0056.

11. Otache I. Enhancing graduates' employability through polytechnic–industry collaboration // *Industry and higher education*. 2021. Vol. 35, No. 3. Pp. 180–191. DOI: 10.1177/09504222211063140.

12. Borah D., Malik K., Massini S. Teaching-focused university–industry collaborations: Determinants and impact on graduates' employability competencies // *Research Policy*. 2021. Vol. 50. No. 7. Article number 104172. DOI:10.1016/j.respol.2020.104172.

13. Osakede U. A., Lawanson A. O., Sobowale D. A. Entrepreneurial interest and academic performance in Nigeria: evidence from undergraduate students in the University of Ibadan // *Journal of innovation and entrepreneurship*. 2017. Vol. 6, No. 19. DOI: 10.1186/s13731-017-0079-7.

14. Leydesdorff L., Etkowitz H. Triple Helix of innovation: introduction // *Science and public policy*. 1998. Vol. 25, No. 6. Pp. 358–364.

15. Клемешев А. П., Кудряшова Е. В., Сорокин С. Э. Стейкхолдерский подход в реализации «Третьей миссии» университетов // *Балтийский регион*. 2019. № 4. С. 114–135. DOI: 10.5922/2079-8555-2019-4-7.

16. Василевска А. А., Совик Л. Е. Инновационно-промышленные кластеры в Беларуси: условия создания и модели формализованного представления [Электронный ресурс] // *Экономика и банки*.

2019. № 2. С. 62–72. URL: [https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/16789/1/Vasilevska\\_AA\\_Sovik\\_LE\\_Innovatsionno-promyshlennnye%20klastery%20v%20Belarusi\\_uslovii%20sozdanii%20i%20modeli%20formalizovannogo%20predstavleniia.pdf](https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/16789/1/Vasilevska_AA_Sovik_LE_Innovatsionno-promyshlennnye%20klastery%20v%20Belarusi_uslovii%20sozdanii%20i%20modeli%20formalizovannogo%20predstavleniia.pdf) (дата обращения: 20.09.2024).

17. Satkeeva A. B., Ulanova K. L., Filistova N. Yu., et al. Information and communications technology in distance assessment of learning outcomes in linguistics students // *Revista EntreLinguas*. 2022. Vol. 8, No. S1. Article number 022004. DOI: 10.29051/el.v8iesp.1.16914.

18. Bylaite-Šalavejiene D., García-Aracil A. Promoting competency-based education in Belarusian higher education // *Sustainability*. 2020. Vol. 11, No. 1. Pp. 45–59. DOI: 10.15823/su.2019.51.2.

19. Морозова М. В., Захарова А. А., Лизунков В. Г. Сотрудничество университетов с предприятиями малого и среднего бизнеса // *Профессиональное образование в России и за рубежом*. 2021. № 4 (44). С. 20–29. DOI: 10.54509/22203036\_2021\_4\_20.

20. Kalesnik Y., Kleiman V., Vasicheva V. Directions for improving the quality of education in Belarusian universities (sociological analysis) // *Geopolitical social security and freedom journal*. 2020. Vol. 3, No. 1. Pp. 83–93. DOI: 10.2478/gssfj-2020-0004.

21. Авдеева Д. А. Вклад человеческого капитала в рост российской экономики. Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. 42 с.

22. Симченко Н. А., Астратова Г. В., Климук В. В. Креативный человеческий капитал и оценка его проявления в организационном поведении в контексте цифровизации высшего образования // *Перспективы науки и образования*. 2023. № 6 (66). С. 647–672. DOI: 10.32744/PSE.2023.6.38.

23. García-Aracil A., Isusi-Fagoaga R., Navarro-Milla I. Appropriateness of education and employment // *Sustainability*. 2019. Vol. 12, No. 4. Article number 1490. DOI: 10.15823/su.2019.52.4.

24. Binuyo A. O., Adefulu A. D., Asikhia, O. U., Odumosu, A. A. Social Innovation and Skill Acquisition among University Graduates in Nigeria // *International journal of innovative research and development*. 2020. Vol. 9, No. 2. DOI: 10.24940/ijird/2020/v9/i2/FEB20094.

25. Прока Н. И. Инвестиции в развитии человеческого капитала АПК // *Вестник ОрелГАУ*. 2021. № 3 (90). С. 146–152.

26. Нуждин Р. В. Классификация бизнес-отношений в стейкхолдер-менеджменте производственных организаций АПК // *Территория науки*. 2016. № 6. С. 79–84.

27. Кучеров А. С. Совершенствование форм взаимодействия аграрных вузов, сельских школ и сельскохозяйственных товаропроизводителей как условие повышения уровня кадрового обеспечения АПК региона // *Аграрный Вестник Урала*. 2011. № 8. С. 74–75.

28. Бочарова Е. В. Система компетенций работников агропромышленного комплекса // *Историческая и социально-образовательная мысль*. 2017. № 5-1. С. 133–140.

29. Петров М. А. Теория заинтересованных сторон: пути практического применения // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент*. 2004. № 2. С. 51–68.

30. Абрамова О. А. Социально-психологический портрет российского IT-предпринимателя // *Социальная психология и общество*. 2021. Т. 12, № 3. С. 188–204. DOI: 10.17759/sps.2021120312.

31. Астратова Г. В., Измайлов А. М., Семенов М. М., Митро М. С. Проблемы ценностей и выбора образовательных услуг студенческой молодежи в условиях цифровизации экономики (предварительный анализ) [Электронный ресурс] // *Вестник евразийской науки*. 2023. Т. 15, № 3. URL: <https://esj.today/PDF/50ECVN323.pdf> (дата обращения: 18.06.2024).

32. Ефремова П. В. Показатели оценки эффективности развития инновационной деятельности вузов // *Вопросы инновационной экономики*. 2019. Т. 9, № 3. С. 989–1010. DOI: 10.18334/vinec.9.3.41001.

33. Удальцова Н. Л., Крутских Д. А. Особенности становления и развития инновационной системы России в контексте «Тройной спирали» // *Вопросы инновационной экономики*. 2021. Т. 11, № 1. С. 33–46. DOI: 10.18334/vinec.11.1.111894.

34. Daineko L. Fostering Professional Competencies Of Students With The New Approaches In Higher Education 2020 // *European proceedings of social and behavioural sciences*. DOI: 10.15405/epsbs.2020.12.03.24.

35. Тесленко В. А., Мельников Р. М. Перспективы развития индустриальной аспирантуры в России // *Высшее образование в России*. 2020. Т. 29, № 5. С. 157–167. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-5-157-167.

36. Moeeni A., Gatward R., Kankeviciene L., Pyko A. Revising ICT programmes through learning outcome alignment: a practical exercise in Belarusian Universities // In: A. Paturzo, L. Stough (Eds.) *Communications in Computer and Information Science*. 2019. Pp. 3–14. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-28251-6.

37. Fedotov A. S., Fedotov A. K., Tolstik A., Zabasta A., Zhiravecka A., Kunicina N., Ribickis, L. Evaluation of market needs in Belarus for improvement of master-level education in the field of physical sciences 2016 // *57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. Riga, Latvia, 2016. DOI: 10.1109/RTUCON.2016.7763148.

38. Камарова Т. А. Необходимые компетенции студентов и выпускников вузов для успешного трудоустройства // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2021. № 4 (47). С. 25–35. DOI: 10.18323/2221-5689-2021-4-25-35.

39. Lizunkov V., Politsinskaya E., Ergunova O. Development of team competence among graduates of technical universities on the basis of collaborative learning // Perspectives of science and education. 2021. Vol. 49, No. 1. Pp. 92–112. DOI: 10.32744/pse.2021.1.7.

40. Комиссаров А., Степашкина Е. А., Соболевац О. Б., Гужеля Д., Селезнева П. С. Общие результаты оценки надпрофессиональных компетенций студентов 1–4 курсов // Гуманитарные и общественные науки. Вестник Финансового университета. 2023. Т. 13, № 2. DOI: 10.26794/2226-7867-2023-13-2-56-71.

41. Афонина Р. Н. Профессиональные метапредметные компетенции учителя как элемент планируемого результата обучения студентов педагогического вуза // Перспективы науки. 2023. № 4 (163). С. 260–262.

42. Ayodele T., Oladokun T., Kajimo-Shakantu K. Employability skills of real estate graduates in Nigeria: a skill gap analysis // Journal of facilities management. 2020. Vol. 18, Iss. 3. DOI: 10.1108/jfm-04-2020-0027.

43. Okolie U. C., Igwe P. A., Ayoola A. A., Nwosu H. E., Kanu C., Mong I. K. Entrepreneurial competencies of undergraduate students: the case of universities in Nigeria // The international journal of management education. 2021. Vol. 19, No. 1. Article number 100452. DOI: 10.1016/j.ijme.2021.100452.

44. Zeng S. X., Xie X. M., Tam C. M. Relationship between cooperation networks and innovation performance of SMEs // Technovation. 2010. Vol. 30, No. 3. Pp. 181–194. DOI: 10.1016/j.technovation.2009.08.003.

45. Hussey D., Eagan P. Using structural equation modeling to test environmental performance in small and medium-sized manufacturers: Can SEM help SMEs? // Journal of cleaner production. 2007. Vol. 15, No. 4. Pp. 303–312. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.12.002.

46. Pereira R., Franco M. Cooperation between universities and SMEs: a systematic literature review // Industry and higher education. 2021. Vol. 35, No. 3. Pp. 275–285. DOI: 10.1177/0950422221995114.

47. O'Regan M., Carthy A., McGuinness C., Owende P. Employer collaboration in developing graduate employability: a pilot study in Ireland // Education + Training. 2022. Vol. 64, No. 8. Pp. 1000–1018. DOI: 10.1108/et-03-2022-0081.

48. Vătămănescu E. M., Cegarra-Navarro J., Andrei A. G., Dincă V., Alexandru V. A. SMEs strategic networks and innovative performance: a relational design and methodology for knowledge sharing // Journal of knowledge management. 2020. Vol. 24, No. 6. Pp. 1369–1392. DOI: 10.1108/jkm-01-2020-0010.

49. Akinuwesi B., Odumabo A., Aribisala B. S. Knowledge grid: an intelligent system for collaboration and knowledge management in Nigerian Universities // Data science journal. 2020. Vol. 19, No. 1. Article number 2. DOI: 10.5334/dsj-2020-002.

50. Сидорова А. А. Сотрудничество вузов и бизнеса: направления взаимодействия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2019. Т. 27, № 2. С. 290–302. DOI: 10.22363/2313-2329-2019-27-2-290-302.

51. Bylaite-Salavejiene D. Educational innovations in Eastern countries 2020 // Final Conference of Erasmus + project Fostering Competencies Development in Belarusian Higher Education // Creativity Studies. 2020. Vol. 13, No. 1. Pp. 232–235. DOI: 10.7203/CREATIVITY.3.16587.

52. Ayodele T., Oladokun T., Kajimo-Shakantu K. Employability skills of real estate graduates in Nigeria: a skill gap analysis // Journal of Facilities Management. 2020. DOI: 10.1108/jfm-04-2020-0027.

### Об авторах

**Галина Владимировна Астратова**, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры интегрированных маркетинговых коммуникаций и брендинга, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0000-0002-3579-4440, AuthorID 263754; E-mail: galina\_28@mail.ru

**Ольга Александровна Рущицкая**, доктор экономических наук, профессор, директор Института экономики, финансов и менеджмента Уральского государственного аграрного университета, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696. E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

**Чигозирим Ндубуиси Онвусирибе**, PhD (Agribusiness), постдок, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-7740-5458, E-mail: ndubuisichigo@gmail.com

**Айрат Маратович Измайлов**, кандидат экономических наук, доцент кафедры цифровой экономики, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, Россия; доцент кафедры научных и инновационных технологий в здравоохранении Самарский государственный медицинский университет Самара, Россия; ORCID 0000-0002-5193-1994, AuthorID 634963 E-mail: airick73@bk.ru



## Цифровизация регионального АПК: проблемы и перспективы

М. В. Киварина<sup>✉</sup>, Н. Н. Юрина

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород,  
Россия

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

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию современного состояния процессов цифровой трансформации в агропромышленном комплексе (АПК) России. Сельское хозяйство является специфической отраслью российской экономики, которая в настоящее время особенно нуждается в инновационных преобразованиях и цифровизации. Множество хозяйственных связей, различных по уровню сложности и степени интенсивности, объединяют многочисленных сельхозпроизводителей в отраслевую систему. Однако субъекты хозяйствования, как правило, заметно рассредоточены по территории РФ, что затрудняет выработку единых, одинаково эффективных для всех аграриев управленческих решений. **Цель статьи** – обоснование перспектив развития региональных цифровых технологий на примере одного из субъектов Северо-Западного федерального округа РФ – Новгородской области. **Методы исследования:** научно-теоретическое обобщение существующих подходов и способов оценивания ключевых параметров процессов цифровизации в агропромышленном секторе. В качестве информационного источника исследования выступают статистические данные по России и Новгородской области за период 2016–2023 гг., а также плановые и отчетные показатели регионального проекта «Цифровое сельское хозяйство». **Научная новизна** исследования заключается в том, что выявлены факторы, сдерживающие развитие информационных технологий в региональном АПК, преодоление которых будет способствовать росту эффективности функционирования сельскохозяйственных отраслей в новой цифровой формации. **Результаты исследования.** На основе анализа статистической информации обоснована необходимость цифровой трансформации АПК России, выявлена специфика российского аграрного сектора, сдерживающая процессы цифровизации, определены перспективы развития региональных цифровых технологий. Результаты исследования могут быть полезны для формирования региональных стратегий развития сельского хозяйства и принятия решений по совершенствованию цифрового потенциала АПК в регионах России.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, регион, цифровая трансформация, цифровизация, сельское хозяйство, рейтинг цифровой трансформации, цифровой интеллект, платформенная экономика

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20434 «Научно-методологический подход к оценке эффективности функционирования цифровой платформы АПК», <https://rscf.ru/project/24-28-20434/>

**Для цитирования:** Киварина М. В., Юрина Н. Н. Цифровизация регионального АПК: проблемы и перспективы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 515–528. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-515-528>.

**Дата поступления статьи:** 26.05.2024, **дата рецензирования:** 04.12.2024, **дата принятия:** 16.01.2025.

## Digitalization of the regional agro-industrial complex: problems and prospects

M. V. Kivarina , N. N. Yurina

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

 E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru

ЭКОНОМИКА

**Abstract.** The article is devoted to the study of the current state of digital transformation processes in the agro-industrial complex (AIC) of Russia. Agriculture is a specific branch of the Russian economy, which is currently in particular need of innovative transformations and digitalization. Many economic ties, varying in level of complexity and degree of intensity, unite numerous agricultural producers into a single industry system. However, business entities, as a rule, are noticeably dispersed throughout the territory of the Russian Federation, which makes it difficult to develop unified, equally effective management solutions for all farmers. **The purpose of the article** is to substantiate the prospects for the development of regional digital technologies on the example of one of the subjects of the Northwestern Federal District of the Russian Federation – the Novgorod region. **Research methods:** scientific and theoretical generalization of existing approaches and methods for evaluating key parameters of digitalization processes in the agro-industrial sector. Statistical data for Russia and the Novgorod Region for the period 2016–2023, as well as planned and reporting indicators of the regional Digital Agriculture project, serve as an information source for the study. **The scientific novelty** of the research lies in the formation of an original approach to the development of methods for the comprehensive analysis of digital transformations in the AIC, which allows to identify possible directions for increasing the efficiency of agricultural industries in a new digital formation. **Research results:** based on the analysis of statistical information, the need for digital transformation of the AIC of Russia is substantiated, the specifics of the Russian agricultural sector that constrains the processes of digitalization are revealed, and the prospects for the development of regional digital technologies are determined. The results of the study can be useful for the formation of regional agricultural development strategies and decision-making on improving the digital potential of the AIC in the regions of Russia.

**Keywords:** agro-industrial complex, region, digital transformation, digitalization, agriculture, digital transformation rating, digital intelligence, platform economy

**Acknowledgments.** The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 24-28-20434 “Scientific and methodological approach to assessing the efficiency of the digital platform of the agro-industrial complex”, <https://rscf.ru/project/24-28-20434/>

**For citation:** Kivarina M. V., Yurina N. N. Digitalization of the regional agro-industrial complex: problems and prospects. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 515–528. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-515-528>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 26.05.2024, **date of review:** 04.12.2024, **date of acceptance:** 16.01.2025.

### Постановка проблемы (Introduction)

Сельское хозяйство в настоящее время представляет собой стратегически важную отрасль, от эффективного развития которой напрямую зависит благосостояние всей страны и отдельных ее регионов. Для решения задачи быстрого наращивания производственного потенциала сельское хозяйство в короткие сроки должно превратиться в конкурентоспособную высокопроизводительную отрасль с максимальным выходом качественной продукции и услуг при минимальных затратах на производство и реализацию. Подобный технологический скачок невозможен без внедрения в агропромышленный комплекс современных цифровых технологий. В настоящее время процесс цифровизации затра-

гивает все направления сельскохозяйственной деятельности, с разной степенью интенсивности проникая во все сферы АПК.

Вопросы цифровизации, цифровой модернизации и трансформации являются одними из ключевых на всех уровнях ведения хозяйственной деятельности и управления ею. В АПК Новгородской области и его отраслях также наблюдается рост интереса к тренду повсеместного внедрения новейших информационных технологий.

### Методология и методы исследования (Methods)

Исследование основано на широком применении общепризнанных методов анализа, научного обобщения, сравнения и синтеза существующих данных и материалов по вопросам цифровой эко-

номики, цифровых платформ, цифровизации АПК. Теоретико-методологическую основу статьи составляют научные публикации ведущих отечественных и зарубежных ученых, рассматривающих инновационные аспекты цифровой трансформации различных секторов экономики, в том числе сельского хозяйства.

Вопросам цифровизации и концентрирования информационных технологий в различных отраслях экономики сегодня уделяется существенное внимание [1–3]. Согласно общепринятому подходу, цифровые инструменты, в том числе разнообразные платформенные продукты, призваны систематизировать и обрабатывать многоуровневые данные, формируя так называемый «цифровой интеллект» [4], который применительно к АПК представляет собой повсеместное внедрение и использование цифровых технологий и средств аналитики с целью оптимизации процессов производства, управления материальными и трудовыми ресурсами, предсказания возможных результатов деятельности с учетом высокой неопределенности внешней среды, а также улучшения эффективности и конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий [5].

В основе авторского подхода лежит комплексное исследование изучаемого предмета с применением методов эмпирического, сравнительного, логического и графического анализа. В качестве информационных источников исследования выступают данные официальной статистики по России и Новгородской области за период 2016–2023 гг., аналитические и справочные материалы, публикуемые экспертами в области цифровой трансформации АПК, а также данные рейтинговых агентств по изучаемой проблематике.

### Результаты (Results)

На протяжении последних лет (10–20-е гг. XXI века) АПК Российской Федерации развивался довольно успешно и демонстрировал вполне заметную положительную динамику. К примеру, с начала 2016 года объем сельскохозяйственного производства в стране вырос на 69 %, а объем экспорта сельхозпродукции увеличился на 134 %, то есть более чем в два раза за шестилетний период (рис. 1).

Поступательное развитие сельскохозяйственной отрасли в России способствовало укреплению продовольственной стабильности нации. Данный факт нашел отражение в увеличении с 2015 года индекса продовольственной безопасности России. Так, в 2021 году его значение составило 74,8 пункта из 100 максимальных против 61,5 пункта в 2015 году (рис. 2).

Следует отметить, что данные показатели были достигнуты в то время, когда в доступе у сельхозпроизводителей находились западные технологии и средства производства, а также в условиях свободного движения денежных потоков.

В 2022 году был опубликован 11-й рейтинг стран мира по уровню продовольственной безопасности, рассчитанный британской исследовательской компанией Economist Intelligence Unit [7]. Как видно из рис. 2, в 2022 году индекс продовольственной безопасности России сократился на 5,7 пункта, что было вызвано февральскими событиями и началом специальной военной операции, приведшей к существенному удорожанию средств производства, замедлению процессов внедрения инновационных, в том числе цифровых, технологий, деструкции многолетних хозяйственных связей и цепочек поставок. На сегодняшний день все легкодоступные потенциальные возможности для развития сельского хозяйства в российских регионах практически полностью исчерпаны. В результате на первое место выходит вопрос о цифровизации АПК, применении новых цифровых технологий во всех сферах АПК, что может стать действенным драйвером его дальнейшего интенсивного роста.

Исследование процесса цифровой трансформации регионального АПК позволило выделить ряд специфических черт, характерных для российской практики:

**1. Невысокая степень вовлеченности в процесс цифровизации средних и особенно малых сельхозпроизводителей.** Поскольку внедрение цифровых инноваций – процесс весьма затратный, малые агропредприятия регионов, не имеющие достаточного количества финансовых ресурсов, вынуждены использовать отдельные IT-решения без какой-либо системной интеграции цифровых технологий. Поскольку цифровизация в основном ограничивается теми сферами бизнеса, которые влекут за собой высокие эксплуатационные расходы, региональным компаниям не удастся реализовать весь потенциал цифровой трансформации.

**2. Недостаток в ряде регионов квалифицированных специалистов и экспертов по цифровым технологиям на предприятиях АПК.** Данная особенность вызвана тем, что Россия, являясь одной из мировых сельскохозяйственных держав, существенно отстает от других стран по качеству продукта аграрной науки. Главными причинами подобного отставания являются недостаточная эффективность инвестиций в агронаучный сектор, несбалансированность их структуры, консерватизм и негибкость системы аграрного образования. Согласно исследованиям Высшей школы экономики, объем инвестиций в сельскохозяйственную науку в России почти в 60 раз меньше, чем в США; за последние 10 лет высшие учебные заведения в США выпустили почти 2000 специалистов в области агрогенетики, селекции, репродуктивных технологий, в то время как в российских университетах подобные специальности только появляются в образовательном процессе [8].



Рис. 1. Динамика производства и экспорта продукции АПК  
 Источник: составлено авторами по данным [6]

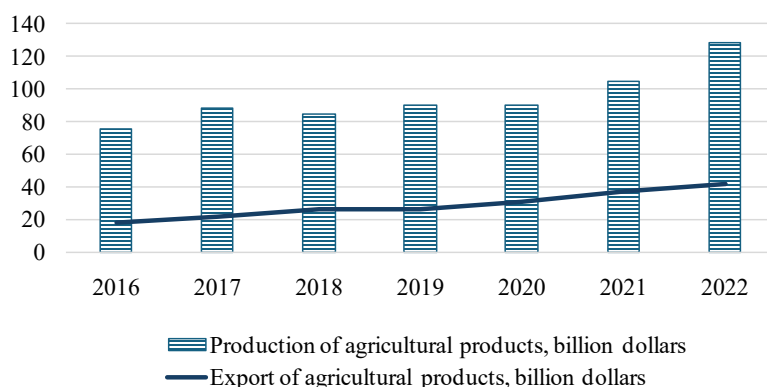


Fig. 1. Dynamics of production and export of agricultural products  
 Source: compiled by the authors according to [6]

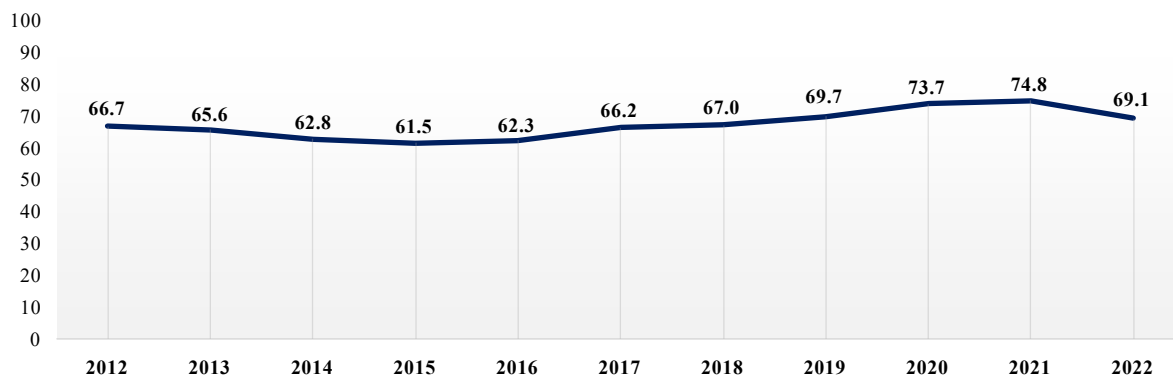


Рис. 2. Динамика индекса продовольственной безопасности России  
 Источник: составлено авторами по данным [7]  
 Fig. 2. Dynamics of the Russian Food Security Index  
 Source: compiled by the authors according to [7]

**3. Заинтересованность Министерства сельского хозяйства России в получении определенного контроля над сельхозпроизводителями,** что можно проследить по устанавливаемым государством требованиям. Например, начиная с 2023 года сельскохозяйственные предприятия должны вести систему учета показателей своей деятельности на различных информационных площадках, среди которых «Зерно», «Меркурий» и другие. При этом единая цифровая платформа, которая могла бы реально упростить работу агропроизводителей в

части налаживания нужных связей, получения необходимых контактов и оперативных данных, планируется к внедрению лишь в 2030 году.

**4. Большая площадь страны и неоднородность развития территорий.** Российские регионы существенно различаются между собой как по уровню социально-экономического развития, так и по степени цифровой зрелости, в том числе в сфере АПК. Например, в некоторых субъектах РФ до сих пор существует недостаточная инфраструктура для обеспечения высокоскоростного интернета, что



крайне затрудняет процесс цифровизации сельскохозяйственных предприятий. Кроме того, в России не выработана единая стратегия региональной цифровизации АПК, в результате чего каждый регион использует собственные подходы и методики внедрения цифровых технологий в сельскохозяйственную отрасль. Это, в свою очередь, затрудняет сравнительный анализ и оценку эффективности применения в регионах инструментов цифровизации.

Вышеуказанные характеристики существенно замедляют процесс цифровизации агропромышленного сектора в регионах России. На сегодняшний день по уровню внедрения цифровых технологий российский АПК заметно уступает показателям ведущих стран мира (рис. 3).

Следует отметить, что агропроизводители осознают значимость цифровой трансформации сельскохозяйственной отрасли и достаточно активно осваивают на практике отдельные элементы разработанных для сферы АПК цифровых платформ. Понятие «платформенная экономика» появилось в научном обороте сравнительно недавно [10–12]. Она представляет собой особую форму ведения хозяйственной деятельности, основанную на повсеместном использовании специализированных цифровых сервисов – онлайн-систем, включающих комплексные IT-решения для улучшения взаимодействия между пользователями. Спектр услуг при этом крайне разнообразен – от информационно-

справочных до проведения коммерческих операций [13; 14]. Среди российских разработок цифровых решений, помогающих сельхозпроизводителям оптимизировать производственную деятельность, можно выделить следующие:

– **ExactFarming** – платформа цифрового сельского хозяйства, объединяющая различные IT-решения, которые структурно распределены между тремя группами пользователей: сельхозпроизводителями, производителями семян и агрохимии, банками и страховыми компаниями (разработчик – ООО «Айтисфера»);

– **SmartAgro** – система, позволяющая полностью автоматизировать планирование, сбор данных и анализ полученных результатов ведения работ в поле; включает такие структурные элементы, как агрономический блок, агроскаутинг, экономический блок, в том числе финансы и KPI, инженерный блок, кадастровый блок, блок контроля качества готовой продукции; имеет мобильные приложения, которые синхронизируются с веб-версией системы (разработчик – SmartAgro при поддержке фонда «Сколково»);

– **«АгроМон»** – прикладное программное обеспечение, используемое для управления растениеводческим предприятием. Позволяет планировать сезоны, управлять полевыми работами, вести онлайн-осмотр посевов, а также получать консультации специалистов и формировать финансовую отчетность (разработчик – АО «Байер»);

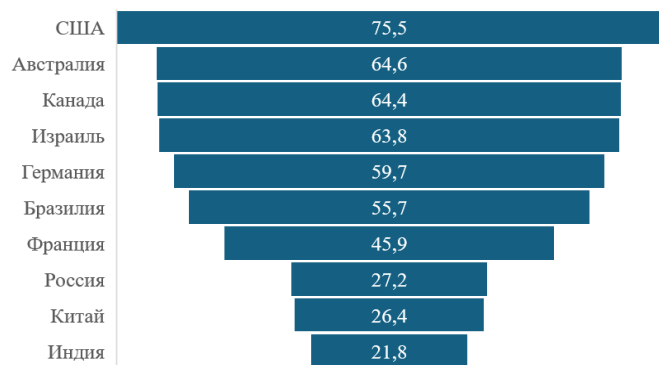


Рис. 3. Индекс цифровизации АПК в различных странах, 2023 год  
Источник: составлено авторами по данным [9]

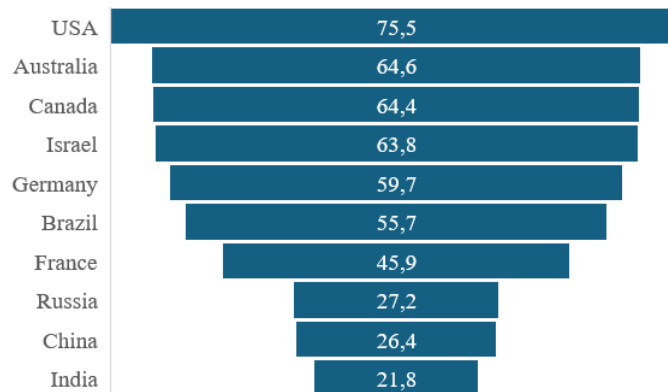


Fig. 3. Index of digitalization of agriculture in various countries, 2023  
Source: compiled by the authors according to [9]

– РСМ «Агротроник» – экосистема сервисов, предназначенная для технического и управленческого мониторинга сельскохозяйственной техники; позволяет через датчики, интегрированные в бортовую систему агромашин, контролировать их параметры, формировать и анализировать карты урожайности полей, определять оптимальные маршруты техники (разработчик – ГК «Ростсельмаш»);

– «Агробот» – компьютерная система, позволяющая автоматизировать значительную часть полевых работ путем организации автопилотирования сельскохозяйственной техники (разработчик – Aurora Robotics);

– агросистема «КлеверFarmer» – полноценная цифровая платформа для рационального управления процессом севооборота. Помогает пользователю принимать верные решения на основе имеющихся в системе текущих и прогнозных данных о погоде, состоянии почв, активных вредителях. Применяется агропредприятиями любого размера (разработчик – ООО «Клевер Фармер»).

Такое количество и разнообразие IT-решений для сельского хозяйства еще раз подтверждает заинтересованность аграриев в новейших трендах, востребованных участниками экономического рынка, а именно в цифровых платформах.

Важно отметить, что в своем большинстве перечисленные выше концепции и онлайн-сервисы нацелены на охват большого экономического кластера – по сути, пользователей со всей страны. Кроме того, они ориентированы на реализацию разрозненных или точечных элементов цифровизации [15]. С одной стороны, такой подход имеет многозначительный и положительный смысл, поскольку позволит привлечь к платформе максимальное количество пользователей фактически со всех регионов России, а также консолидировать данные из различных отраслей сельского хозяйства в одном месте – базе данных платформы [16]. Но с практической точки зрения более уместным вариантом, на наш взгляд, является создание цифровой экосистемы АПК, в которую войдут кастомизированные платформы, учитывающие особенности и специфику каждого региона.

С целью ускорения процессов цифровизации и непрерывного мониторинга региональных мероприятий цифровой трансформации отрасли в 2023 году Министерством сельского хозяйства совместно с Центром цифровой трансформации в сфере АПК был разработан и впервые использован на практике рейтинг цифровой трансформации сферы АПК в российских регионах. В основе данного рейтинга лежат различные показатели, сгруппированные по признакам организационной, нормативной и кадровой обеспеченности цифровизации сельского хозяйства.

Согласно данному рейтингу, ведущие позиции в сфере цифровой трансформации регионального агропромышленного комплекса занимают такие субъекты РФ, как Республика Татарстан, Костромская область, Орловская область, Томская область, Чувашская Республика, Самарская область, Республика Башкортостан, Забайкальский край, Волгоградская область [17]. Названные регионы продемонстрировали наибольшую готовность управленческой команды к цифровым преобразованиям сельского хозяйства, а также наличие стратегии цифровой трансформации отрасли, включающей систему взаимосвязанных мер и мероприятий, направленных на обеспечение долгосрочного развития АПК с активным применением цифровых инструментов.

Региональный рейтинг цифровой трансформации сферы АПК предполагает ежеквартальный сбор данных и представление полученных результатов с целью выявления и распространения лучших практик цифровизации сельского хозяйства, а также выравнивания регионов в области цифровой трансформации АПК. Региональные органы власти получают, таким образом, действенный инструмент, позволяющий своевременно отмечать прирост достижения установленных программой цифровизации показателей, изменение скорости и направления их движения, а также объективно оценивать результативность реализуемых проектов и мероприятий.

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

Агропромышленный комплекс Новгородской области остро нуждается в цифровой трансформации. Это доказывают ключевые показатели развития сельского хозяйства в Новгородской области в 2021–2022 годах (таблица 1).

Как видно из приведенных данных, сельскохозяйственная отрасль Новгородской области имеет экстенсивный характер развития. Прирост объема продукции сельского хозяйства на 9,5 % обусловлен экстенсивными факторами, поскольку темпы роста отрасли в 2021–2022 годах отстают от темпов роста региональной экономики (доля продукции сельского хозяйства в валовом региональном продукте сократилась на 0,1 %). Увеличение затрат на инвестиции в сфере АПК на 42,9 % не способствует росту рентабельности проданных сельхозтоваров и услуг, что свидетельствует о недостаточной эффективности капитальных вложений.

Следует отметить, что правительство региона осознает необходимость цифровой трансформации АПК и предпринимает ряд системных мер в данном направлении.

По итогам первого полугодия 2023 года Новгородская область заняла 6 место в рейтинге цифровой трансформации сферы АПК, выйдя в лидеры наряду с такими регионами, как Республика Татар-

стан, Костромская и Московская области. Подобный результат стал возможен благодаря реализации в регионе ряда специальных мероприятий. Прежде всего на территории области была утверждена стратегия в области цифровизации отрасли сельского хозяйства, которая напрямую связана с реализацией в нашей области приоритетного регионального проекта «Цифровое сельское хозяйство».

Основными целями регионального проекта являются:

- увеличение доли сельскохозяйственных товаропроизводителей Новгородской области, получающих региональные субсидии в электронном виде, до 80 % к 2025 году;

- увеличение доли сельскохозяйственных угодий, имеющих цифровой профиль, до 100 % к 2025 году.

В рамках реализации данного проекта в 2022 году был существенно расширен функционал возможностей используемой аграриями информационной системы. Более того, данная система была интегрирована в Единую федеральную информационную систему о землях сельхозназначения (ЕФИС ЗСН), что позволяет автоматически передавать сведения по посевам из областной системы в федеральную систему Минсельхоза России. Проведены работы по модернизации модуля, позволяющего органам местного самоуправления Новгородской области подавать заявки в Министерство для участия в отборе общественно значимых проектов по благоустройству сельских территорий Новгородской области в электронном виде. В 2023 году все заявки прошли отбор через РИС АПК.

В 2024 году проведена модернизация следующих модулей:

- по автоматизации процессов предоставления государственной поддержки;
- оцифровке сведений о земельных участках и их границах;

- модернизации личного кабинета сельскохозяйственного товаропроизводителя.

В личном кабинете сельхозтоваропроизводителя и его сотрудникам в зависимости от роли будут доступны разделы: «Управление доступом сотрудников организации», «Актуальные новости», «Цифровое поле» (с возможностью введения информации о своих землях, а также формирования рабочих участков посевных и отслеживания динамики их использования, получения достоверной информации об агрохимических показателях, снимков из космоса, границах земельных участков, наличии засоренности борщевиком Сосновского).

Таким образом, цифровая трансформация и цифровизация сельского хозяйства предоставляет множество возможностей для современного развития отрасли в Новгородской области. Среди наиболее важных перспектив развития цифровой трансформации в АПК можно выделить:

- 1) внедрение цифровых технологий в производственные процессы, такие как использование дронов для мониторинга урожаев, сельскохозяйственные роботы для уборки урожая и управления растениями, а также умные системы для автоматизации и управления процессами на фермах;

- 2) развитие цифровой инфраструктуры, включая создание сетей Интернета вещей (IoT), облачных вычислений и цифровых платформ для обмена данными и информацией между сельскохозяйственными предприятиями;

- 3) обучение сельскохозяйственных работников и специалистов цифровым навыкам и компетенциям, а также создание центров цифрового образования и инноваций в сельской местности;

- 4) разработку цифровых сервисов и приложений для сельского хозяйства, таких как сервисы онлайн-торговли сельскохозяйственной продукцией, платформы для управления фермерскими данными и аналитика для принятия решений;

Таблица 1

**Показатели развития сельскохозяйственной отрасли Новгородской области**

Наименование показателя	2021 г.	2022 г.	Темп прироста, %
Продукция сельского хозяйства, млн руб.	29 309	32 091	9,5
Доля в валовом региональном продукте, %	8,5	8,4	-0,1
Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг), %:			
– растениеводство	23,9	10,5	-13,4
– животноводство	9,1	10,2	1,1
Объем затрат на инвестиции, млн. руб.	608,3	869,4	42,9

Источник: составлено авторами по данным [18].

Table 1

**Indicators of the development of the agricultural sector of the Novgorod region**

The name of the indicator	2021	2022	Growth rate, %
Agricultural products, million rubles	29 309	32 091	9.5
Share in the gross regional product, %	8.5	8.4	-0.1
Profitability of goods, products (works, services) sold, %:			
– crop production	23.9	10.5	-13.4
– animal husbandry	9.1	10.2	1.1
The amount of investment costs, million rubles	608.3	869.4	42.9

Source: compiled by the authors according to [18].

5) поддержку молодых предпринимателей и стартапов, в том числе студенческих, в области цифровых технологий для сельского хозяйства через гранты, инвестиции и консультации;

6) содействие внедрению цифровых решений для улучшения экологической устойчивости сельского хозяйства, таких как использование технологий точного земледелия, агротехники и мониторинга окружающей среды.

Значимым инструментом в процессе аккумуляции цифровых сервисов и приложений для сельского хозяйства Новгородской области может выступить региональная цифровая платформа. Исследовав различные аспекты функционирования цифровых платформ, мы выявили факторы, способствующие внедрению цифровой платформы в АПК региона. Кроме того, мы оценили, как заявленные драйверы могут влиять на развитие дуальных отношений между участниками платформы. Так, в работе [19] определены факторы, которые способствуют внедрению цифровых платформ среди некрупных предприятий в сфере малого и среднего бизнеса. Фокус-группу ученые сформировали из представителей компаний, представляющих телекоммуникационные услуги, международные консалтинговые услуги, промышленную отрасль, транспортно-логистические услуги, разработку программного обеспечения. Авторы настоящей работы расширили данный перечень с учетом отраслевой специализации и выполнили группировку факторов (таблица 2). Их классификация по четырем признакам – социальному, управленческому, экономическому, технологическому – обусловлена характером взаимодействий участников цифровой платформы. Научно доказано [20], что стратегия и механизм взаимодействия участников бизнес-процессов формируется именно по этим направлениям.

Для подтверждения выдвинутого тезиса о влиянии выявленных драйверов развития цифровых платформ на организацию отношений между участниками цифровой платформы авторы использовали метод экспертных оценок. На конец 2022 года в Новгородской области работало 95 сельскохозяйственных организаций различных организационно-правовых форм, 691 крестьянское (фермерское) хозяйство, зарегистрировано более 195 000 личных подсобных хозяйств. Подготовку кадров для отрасли осуществляют вуз – Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, а также учреждения СПО – Старорусский агротехнический колледж, Боровичский агропромышленный техникум, Новгородский агротехнический техникум, Валдайский аграрный техникум и Колледж сервиса и управления. Государственную политику в сфере развития сельского хозяйства осуществляет Министерство сельского хозяйства Новгородской

области с двумя подведомственными учреждениями – ГОКУ «Центр поддержки развития АПК НО» и АНО «Центр консалтинга и инноваций АПК». Поэтому экспертами выступили специалисты из указанных сфер – производства, образования и государственного управления.

Воздействие каждого фактора эксперты оценили по пятибалльной шкале, где 1 – минимальное влияние фактора, 5 – максимальное влияние; весомость (изменение) каждого фактора – по трехбалльной шкале, где 0 – в будущем фактор перестанет существовать, 1 – фактор не изменится в ближайшее время, 2 – фактор усилится в ближайшее время. Результаты анализа экспертных оценок представлены в таблице 3.

Для определения степени влияния фактора на организацию отношений между участниками цифровой платформы использованы интервальные границы. Согласно правилу золотого сечения, высокую степень воздействия имеют факторы с оценкой  $\geq 6,2$ ; среднюю –  $\geq 3,8$ , низкую –  $\leq 3,7$ . Таким образом, проведенный анализ показал, что 94,5 % выявленных факторов оказывают сильное или среднее влияние на организацию отношений между участниками цифровой платформы, а наиболее значимыми являются «Получение доступа к отраслевой информации» (8,28), «Наличие и качество компьютерного и иного цифрового оборудования» (8,00), «Удобство контроля над процессами и заявками» (7,92), «Сокращение затрат на анализ рынка» (7,20), «Сокращение транзакционных издержек, в том числе на поиск бизнес-партнера» (6,72), «Надежность и качество работы платформы» (6,72). Однако не стоит нивелировать значение остальных факторов, поскольку именно их интеграция обеспечивает синергетический эффект не только на отношения между участниками цифровой платформы, но и на инновационное развитие отрасли в целом.

Таким образом, развитие цифровой трансформации в сельском хозяйстве Новгородской области может способствовать росту эффективности производства, повышению качества продукции, увеличению конкурентоспособности отрасли и улучшению условий жизни жителей региона.

Одним из актуальных трендов развития АПК РФ на ближайшие годы становится импортозамещение – стратегия государственной политики, направленная на уменьшение зависимости страны от импорта сельскохозяйственной продукции и продуктов питания путем увеличения производства и обработки собственных сельскохозяйственных товаров [21]. Для успешной реализации программы импортозамещения в АПК необходим технико-технологический прорыв, достижение которого невозможно без качественного освоения и широкого использования цифровых технологий.



## Факторы, способствующие внедрению цифровой платформы в АПК региона

Группа факторов	Описание факторов
Социальные	<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность завязать деловые отношения с интересующими пользователя людьми, сообществами и компаниями;</li> <li>– аккумуляция большого количества поставщиков и потребителей на одной площадке;</li> <li>– наличие единого окна для решения различных задач;</li> <li>– наличие персонала, способного пользоваться платформой;</li> <li>– зрелость корпоративной культуры в области IT</li> </ul>
Управленческие	<ul style="list-style-type: none"> <li>– оптимизация бизнес-процессов предприятия и повышение гибкости управления предприятием;</li> <li>– поддержка взаимодействия с контрольно-надзорными органами;</li> <li>– реализация электронного документооборота;</li> <li>– управление коммуникациями с владельцами источников информации;</li> <li>– получение доступа к отраслевой информации;</li> <li>– удобство контроля над процессами и заявками</li> </ul>
Экономические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– развитие нового канала продаж;</li> <li>– сокращение затрат на анализ рынка;</li> <li>– автоматический расчет и представление аналитики для экспресс-анализа предложений и постфактного анализа статистики по сделкам;</li> <li>– сокращение транзакционных издержек, в том числе на поиск бизнес-партнера</li> </ul>
Технологические	<ul style="list-style-type: none"> <li>– наличие и качество компьютерного и иного цифрового оборудования;</li> <li>– доступ к программному обеспечению и сети Интернет;</li> <li>– надежность и качество работы платформы;</li> <li>– возможность тестирования платформы</li> </ul>

Источник: составлено авторами по данным [19; 20].

Table 2

## Factors contributing to the introduction of a digital platform in the agro-industrial complex of the region

A group of factors	Description of the factors
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>– the opportunity to establish business relationships with people, communities and companies of interest to the user;</li> <li>– accumulation of a large number of suppliers and consumers on one site;</li> <li>– the presence of a single window for solving various tasks;</li> <li>– availability of personnel capable of using the platform;</li> <li>– the maturity of the corporate culture in the field of IT</li> </ul>
Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>– optimization of the business processes of the enterprise and increase the flexibility of enterprise management;</li> <li>– support for interaction with regulatory and supervisory authorities;</li> <li>– implementation of electronic document management;</li> <li>– managing communications with owners of information sources;</li> <li>– getting access to industry information;</li> <li>– convenience of control over processes and applications</li> </ul>
Economic	<ul style="list-style-type: none"> <li>– development of a new sales channel;</li> <li>– reducing the cost of market analysis;</li> <li>– automatic calculation and presentation of analytics for express analysis of offers and post-fact analysis of transaction statistics;</li> <li>– reduction of transaction costs, including the search for a business partner</li> </ul>
Technological	<ul style="list-style-type: none"> <li>– availability and quality of computer and other digital equipment;</li> <li>– access to software and the Internet;</li> <li>– reliability and quality of the platform;</li> <li>– the ability to test the platform</li> </ul>

Source: compiled by the authors according to [19; 20].

Среди новых возможностей развития сельского хозяйства в регионах России, которые открывает цифровизация, особо следует отметить автоматизацию процессов посева, уборки урожая и ухода за растениями, что способствует повышению эффективность труда сельскохозяйственных работников; внедрение дронов, беспилотных машин, системы мониторинга и управления сельскохозяйственными

процессами на основе цифровых технологий, что существенно увеличивает скорость получения и обработки необходимой информации; совершенствование процессов взаимодействия сельхозпроизводителей в части масштабирования лучших практик ведения хозяйственной деятельности, опыта принятия инновационных решений, что способствует развитию агроиндустрии в целом.

Таблица 3  
Экспертная оценка факторов,

оказывающих воздействие на отношения между участниками цифровой платформы

Экономика

Факторы	Влияние фактора. Экспертная оценка					Средняя	Весомость фактора. Экспертная оценка					Средняя	Средне-взвешенная
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
<b>Социальные</b>													
Возможность завязать деловые отношения с интересующими пользователя людьми, сообществами и компаниями	5	4	3	3	3	3,6	2	2	2	2	0	1,6	5,76
Аккумуляция большого количества поставщиков и потребителей на одной площадке	5	3	5	2	3	3,6	2	2	1	2	1	1,6	5,76
Наличие единого окна для решения различных задач	4	3	5	3	4	3,8	2	1	1	2	1	1,4	5,32
Наличие персонала, способного пользоваться платформой	4	3	4	2	3	3,2	2	2	2	1	2	1,8	5,76
Зрелость корпоративной культуры в области IT	4	4	5	4	4	4,2	2	1	1	1	1	1,2	5,04
<b>Управленческие</b>													
Оптимизация бизнес-процессов предприятия и повышение гибкости управления предприятием	4	3	4	3	2	3,2	1	2	2	1	1	1,4	4,48
Поддержка взаимодействия с контрольно-надзорными органами	4	3	5	5	4	4,2	0	2	2	1	1	1,2	5,04
Реализация электронного документооборота	5	3	5	4	5	4,4	2	2	2	1	0	1,4	6,16
Управление коммуникациями с владельцами источников информации	4	3	4	3	3	3,4	2	1	2	2	1	1,6	5,44
Получение доступа к отраслевой информации	5	5	5	3	5	4,6	1	2	2	2	2	1,8	8,28
Удобство контроля над процессами и заявками	5	4	4	5	4	4,4	2	2	2	2	1	1,8	7,92
<b>Экономические</b>													
Развитие нового канала продаж	3	3	4	4	3	3,4	2	2	2	2	1	1,8	6,12
Сокращение затрат на анализ рынка	4	3	5	5	3	4	2	2	1	2	2	1,8	7,20
Автоматический расчет и представление аналитики для экспресс-анализа предложений и постфактного анализа статистики по сделкам	5	4	4	3	3	3,8	1	1	2	2	2	1,6	6,08
Сокращение транзакционных издержек, в том числе на поиск бизнес-партнера	4	4	5	4	4	4,2	2	1	2	3	0	1,6	6,72
<b>Технологические</b>													
Наличие и качество компьютерного и иного цифрового оборудования	5	5	5	5	5	5	2	1	1	2	2	1,6	8,00
Доступ к программному обеспечению и сети Интернет	4	5	4	5	4	4,4	2	2	2	0	1	1,4	6,16
Надежность и качество работы платформы	5	5	5	4	5	4,8	2	1	2	1	1	1,4	6,72
Возможность тестирования платформы	4	3	3	4	3	3,4	2	1	1	0	1	1	3,40

Источник: составлено авторами.

Table 3

Expert assessment of the factors influencing the relationship between the participants of the digital platform

Factors	The influence of the factor. Expert assessment					Average	The weight of the factor. Expert assessment					Average	Weighted average
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
<b>Social</b>													
The opportunity to establish business relationships with people, communities, and companies of interest to the user	5	4	3	3	3	3.6	2	2	2	2	0	1.6	5.76
Accumulation of a large number of suppliers and consumers on one site	5	3	5	2	3	3.6	2	2	1	2	1	1.6	5.76
The presence of a single window for solving various tasks	4	3	5	3	4	3.8	2	1	1	2	1	1.4	5.32
Availability of personnel capable of using the platform	4	3	4	2	3	3.2	2	2	2	1	2	1.8	5.76
Maturity of the corporate culture in the field of IT	4	4	5	4	4	4.2	2	1	1	1	1	1.2	5.04
<b>Management</b>													
Optimization of business processes of the enterprise and increase of flexibility of enterprise management	4	3	4	3	2	3.2	1	2	2	1	1	1.4	4.48
Support for interaction with regulatory authorities	4	3	5	5	4	4.2	0	2	2	1	1	1.2	5.04
Implementation of electronic document management	5	3	5	4	5	4.4	2	2	2	1	0	1.4	6.16
Managing communications with owners of information sources	4	3	4	3	3	3.4	2	1	2	2	1	1.6	5.44
Getting access to industry information	5	5	5	3	5	4.6	1	2	2	2	2	1.8	8.28
Ease of control over processes and applications	5	4	4	5	4	4.4	2	2	2	2	1	1.8	7.92
<b>Economic</b>													
Development of a new sales channel	3	3	4	4	3	3.4	2	2	2	2	1	1.8	6.12
Reducing the cost of market analysis	4	3	5	5	3	4	2	2	1	2	2	1.8	7.20
Automatic calculation and presentation of analytics for express analysis of offers and post-fact analysis of transaction statistics	5	4	4	3	3	3.8	1	1	2	2	2	1.6	6.08
Reduction of transaction costs, including the search for a business partner	4	4	5	4	4	4.2	2	1	2	3	0	1.6	6.72
<b>Technological</b>													
Availability and quality of computer and other digital equipment	5	5	5	5	5	5	2	1	1	2	2	1.6	8.00
Access to software and the Internet	4	5	4	5	4	4.4	2	2	2	0	1	1.4	6.16
Reliability and quality of the platform	5	5	5	4	5	4.8	2	1	2	1	1	1.4	6.72
The ability to test the platform	4	3	3	4	3	3.4	2	1	1	0	1	1	3.40

Source: compiled by the authors.

Библиографический список

1. Абдеева А. Т., Оздамирова Л. М., Арсалиева Э. Х. Цифровая экономика. Риски и проблемы цифровой экономики // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13, № 7-1. С. 148–153. DOI: 10.34670/AR.2023.58.13.014.
2. Петерс И. А., Рудкова Т. А., Смотрова Е. Е. Цифровизация как фактор повышения эффективности функционирования АПК на региональном уровне // Экономика и предпринимательство. 2020. № 12 (125). С. 378–382. DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.073.
3. Попова Л. В., Лата М. С., Мелихов П. А. Цифровизация как драйвер устойчивого развития аграрной экономики региона // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2022. № 1 (295). С. 31–45. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-1-295-31-45.
4. Shuyu Y., Yirong D., Xiao Z. Research and Application of Agricultural Internet of Things Technology in Intelligent Agriculture // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1769. Article number 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1769/1/012020.
5. Malkar M., Jogdand S., Chattar S. A Comparative Study on Internet of Things (IoT) and Its Applications in Smart Agriculture // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. 2022. Pp. 95–101. DOI: 10.48175/IJAR SCT-5117.
6. Сельское хозяйство в России. 2023: стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 103 с.
7. The 11th Global Food Security Index shows a deterioration in the global food environment for the third year, threatening food security [Электронный ресурс] // Economist Impact. Global Food Security Index, 2022. URL: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/#key-findings> (дата обращения: 06.04.2024).
8. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4: доклад к XXI Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества / Под ред. Н. В. Орловой; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. 128 с.
9. Шендерюк О., Чемашкин Ф., Ветошкин С., Могилюк В. Цифровизация АПК России: проблемы и предлагаемые решения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yakov.partners/upload/iblock/6df/0e2wbekg9n1w712c5dseb168olwmmcf9/Tsifrovizatsiya-APK-Rossii.-Problemy-i-predlagaemye-resheniya.pdf> (дата обращения: 08.04.2024).
10. Авдокушин Е. Ф. Платформенная экономика как элемент современной новой экономики // Вопросы новой экономики. 2019. № 2 (50). С. 4–11.
11. Баланова М. М. Платформенная экономика как ядро цифровой экономики: обзор научных школ и ранжирования ее субъектов // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2021. № 7 (201). С. 19–31. DOI: 10.46554/1993-0453-2021-7-201-19-31.
12. Bryntsev A., Levina E. Platform-network economy: Features of formation in Russia // Management and Business Administration. 2023. Vol. 3. Pp. 149–161. DOI: 10.33983/2075-1826-2023-3-149-161.
13. Musina D., Yangirov A., Kharitonov S. Improvement of business processes of subjects of the agro-industrial complex through a digital platform // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 949. Article number 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012023.
14. Arykbaev R. Organization of a single digital platform for agro-industrial and fisheries complexes // Economic Analysis: Theory and Practice. 2022. Vol. 21. Pp. 2041–2059. DOI: 10.24891/ea.21.11.2041.
15. Неуймин Д. С. Цифровизация как направление стратегического развития регионального АПК [Электронный ресурс] // Наука и Образование. 2022. Т. 5, № 2. URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4908/4945> (дата обращения: 14.02.2024).
16. Кузовкова Т. А., Шаравова О. И., Кузовков А. Д., Шаравова М. М. Значение платформенного бизнеса и методические основы измерения синергии эффективности цифровых платформ // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2022. № 1. С. 82–91.
17. Добровлянин В. Д., Антисескул Е. А. Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего развития // Цифровые модели и решения. 2022. Т. 1, № 2. С. 5. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5.
18. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 1126 с.
19. Налбандян Г. Г., Ховалова Т. В. Факторы, способствующие внедрению цифровых платформ: эмпирический анализ российского малого и среднего бизнеса // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2020. Т. 11, № 4. С. 346–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2020-4-346-353.
20. Куц С. П., Овдина М. В., Смирнова М. М. Оценка качества взаимоотношений компаний с поставщиками на российских промышленных рынках // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. 2008. № 3. С. 173–198.



21. Шатохин М. В., Гордеев И. А., Игнатова М. Н., Кремер К. А. Состояние и перспективы цифровизации регионального АПК // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 8. С. 102–109.

#### Об авторах:

**Мария Валентиновна Киварина**, доктор экономических наук, профессор кафедры цифровой экономики и управления, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0000-0002-8533-4573, AuthorID 316850. E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru

**Наталья Николаевна Юрина**, кандидат экономических наук, доцент кафедры цифровой экономики и управления, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0000-0002-6730-8523, AuthorID 743083. E-mail: nataliya.yurina@novsu.ru

#### References

1. Abdeeva A. T., Ozdamirova L. M., Arsalieva E. H. Digital economy: risks and problems. *Economy: Yesterday, Today, Tomorrow*. 2023; 13 (7-1): 148–153. DOI: 10.34670/AR.2023.58.13.014. (In Russ.)
2. Peters I. A., Rudkova T. A., Smotrova E. E. Digitalization as a factor in increasing the efficiency of the agro-industrial complex at the regional level. *Economy and Entrepreneurship*. 2020; 12 (125): 378–382. DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.073. (In Russ.)
3. Popova L. V., Lata M. S., Melikhov P. A. Digitalization as a driver of sustainable development of the agrarian economy of the region. *Bulletin of Adyge State University. Series 5: Economics*. 2022; 1 (295): 31–45. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-1-295-31-45. (In Russ.)
4. Shuyu Y., Yirong D., Xiao Z. Research and Application of Agricultural Internet of Things Technology in Intelligent Agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1769: 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1769/1/012020.
5. Malkar M., Jogdand S., Chattar S. A Comparative Study on Internet of Things (IoT) and Its Applications in Smart Agriculture. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2022; 95–101. DOI: 10.48175/IJARST-5117.
6. Agriculture in Russia. 2023: statistic collection. Moscow: Rosstat, 2023. 103 p. (In Russ.)
7. The 11th Global Food Security Index shows a deterioration in the global food environment for the third year, threatening food security. *Economist Impact. Global Food Security Index* [Internet]. 2022 [cited 2024 Apr 06]. Available from: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/#key-findings>.
8. Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. *Agriculture 4: report for the XXI April international scientific conference on the problems of economic and social development*. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2020. 128 p. (In Russ.)
9. Shenderyuk O., Chemashkin F., Vetoshkin S., Mogilyuk V. Digitalization of the Russian agro-industrial complex: problems and proposed solutions [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 06]. Available from: <https://www.yakov.partners/upload/iblock/6df/0e2w6ekg9n1w712c5dseb168olwmncf9/TSifrovizatsiya-APK-Rossii.-Problemy-i-predlagaemye-resheniya.pdf>. (In Russ.)
10. Avdokushin E. F. Platform economy as an element of the modern new economy. *Issues of the New Economy*. 2019; 2 (50): 4–11. (In Russ.)
11. Balanova M. M. Platform economy as the core of the digital economy: a review of scientific schools and ranking of its subjects. *Bulletin of Samara State University of Economics*. 2021; 7 (201): 19–31. DOI: 10.46554/1993-0453-2021-7-201-19-31. (In Russ.)
12. Bryntsev A., Levina E. Platform-network economy: Features of formation in Russia. *Management and Business Administration*. 2023; 3: 149–161. DOI: 10.33983/2075-1826-2023-3-149-161.
13. Musina D., Yangirov A., Kharitonov S. Improvement of business processes of subjects of the agro-industrial complex through a digital platform. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012023.
14. Arykbaev R. Organization of a single digital platform for agro-industrial and fisheries complexes. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022; 21: 2041–2059. DOI: 10.24891/ea.21.11.2041.
15. Neuymin D. S. Digitalization as a direction of strategic development of the regional agro-industrial complex. *Science and Education* [Internet]. 2022 [cited 2024 Apr 06]; 5 (2). Available from: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4908/4945>. (In Russ.)
16. Kuzovkova T. A., Sharavova O. I., Kuzovkov A. D., Sharavova M. M. The importance of platform business and methodological foundations for measuring the synergy of the effectiveness of digital platforms. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. 2022; 1: 82–91. (In Russ.)

17. Dobrovlyanin V. D., Antineskul E. A. Digitalization is developing: the level of digitalization in Russia and the prospects for sustainable development. *Digital Models and Solutions*. 2022; 1 (2): 5. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5. (In Russ.)
18. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2023: statistic collection. Moscow: Rosstat, 2023. 1126 p. (In Russ.)
19. Nalbandyan G. G., Khovalova T. V. Drivers for the adoption of digital platforms: an empirical analysis of Russian small and medium-sized enterprises. *Strategic Decisions and Risk Management*. 2020; 11 (4): 346–353. DOI: 10.17747/2618-947X-2020-4-346-353. (In Russ.)
20. Kushch S. P., Ovdina M. V., Smirnova M. M. Assessing relationship quality: the case of Russian industrial firms. *Vestnik of Saint Petersburg University. Management*. 2008; 3: 173–198. (In Russ.)
21. Shatokhin M. V., Gordeev I. A., Ignatova M. N., Kremer K. A. State and prospects of digitalization of the regional agricultural industry. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021; 8: 102–109. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Mariya V. Kivarina**, doctor of economic sciences, professor of the department of digital economics and management, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; ORCID 0000-0002-8533-4573, AuthorID 316850. *E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru*

**Nataliya N. Yurina**, candidate of economic sciences, associate professor of the department of digital economics and management, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; ORCID 0000-0002-6730-8523, AuthorID 743083. *E-mail: nataliya.yurina@novsu.ru*

**Учредитель и издатель:**

**Уральский государственный аграрный университет**

**Адрес учредителя, издателя и редакции:**

**620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42**



**Уральский государственный  
аграрный университет**

**Founder and publisher:**

**Ural State Agrarian University**

**Address of founder, publisher and editorial board:**

**620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.**

**Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»**

**Редакция журнала:**

*В. С. Кухарь* – кандидат экономических наук, шеф-редактор

*А. В. Ерофеева* – редактор

*Н. А. Предеина* – верстка, дизайн

**Editorial:**

*V. S. Kukhar* – candidate of economic sciences, chief editor

*A. V. Erofeeva* – editor

*N. A. Predeina* – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

*E-mail: agro-ural@mail.ru* (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 28.03.2025 г. Усл. печ. л. 21,0. Авт. л. 17,5.

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**

