



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 24, № 02
Vol. 24, No. 02**

2024

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)

О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского государственного аграрного университета (Екатеринбург, Россия)

П. Сотони (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор Университета ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)

В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)

В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

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

Э. Д. Джавадов, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)

Л. И. Дроздова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)

Б. С. Есенгельдин, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)

Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)

С. Б. Исмурагов, 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. Кошасев, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial board

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

Olga G. Lorets (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Péter Sótonyi (Deputy chief editor) of doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector of University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

Editorial Team

Nikolay V. Abramov, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)

Rao Zahid Abbas, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)

Vladimir D. Bogdanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)

Vladimir N. Bolshakov, academician of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)

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

Eduard D. Dzhavadov, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (St. Petersburg, Russia)

Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr S. Donchenko, academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)

Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan

Nikita N. Zezin, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)

Sabit B. Ismuratov, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)

Valeriy V. Kalashnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)

Andrey G. Koshchayev, academician of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Агротехнологии

*Н. И. Воробьев, Я. В. Пухальский,
М. А. Астапова, В. Г. Сурин, В. Н. Пищик*
152
Цифровая обработка фотометрических данных
дистанционного зондирования полей озимой ржи

Е. И. Исаева, Г. Л. Яговенко
163
Поле люпина – способ биологизации севооборота
и основа плодородия

А. Л. Панфилов, Р. Р. Абдрашитов
172
Урожайность сортов яровой пшеницы
на фоне разных приёмов основной обработки
почвы в засушливых условиях

Х. С. Юмашев, И. А. Захарова, В. Я. Крамаренко
185
Влияние азотных удобрений и запасов подвижного
фосфора почвы на продуктивность сои
в условиях лесостепи Южного Зауралья

Биология и биотехнологии

*Н. В. Науменко, Р. И. Фаткуллин,
О. П. Неверова, И. В. Калинина*
197
Использование процесса проращивания для
повышения антиоксидантных свойств сырья

А. Ф. Рябуха, П. А. Кузьмин
207
Подбор и оптимизация методов экстракции ДНК
из листьев гледичии трехколючковой
(*Gleditsia triacanthos* L.).

В. О. Цыганок, Е. О. Цыганок, А. А. Бахареv
218
Использование геномной оценки
в совершенствовании продуктивных качеств
коров голштинской породы

Экономика

Е. А. Алешина, Д. В. Сердобинцев
232
Единая цифровая платформа системной
интеграции сельскохозяйственных,
перерабатывающих и сбытовых предприятий

Н. А. Асанова, И. Ю. Захарова
248
Человеческий капитал в АПК:
занятость и доходы на примере северных районов
Краснодарского края

О. В. Исаева
260
Оценка технико-технологической составляющей
сельского хозяйства:
методологические подходы разработки

Л. А. Калинина, И. А. Зеленская, Н. В. Калинин
273
Перспективы производства овощей
в садоводческих некоммерческих
товариществах граждан

М. В. Киварина
286
Региональная цифровая платформа АПК:
оценка эффективности

Contents

Agrotechnologies

*N. I. Vorobyev, Ya. V. Pukhalskiy, M. A. Astapova,
V. G. Surin, V. N. Pishchik*
152
Digital processing of photometric data of remote
sensing of winter rye fields

E. I. Isaeva, G. L. Yagovenko
163
The lupine field as a method biologization
of crop rotation and the base for fertility

A. L. Panfilov, R. R. Abdrashitov
172
Productivity of spring wheat varieties against
the background of different methods
of basic tillage in arid conditions

K. S. Yumashev, I. A. Zakharova, V. Ya. Kramarenko
185
Influence of nitrogen fertilizers and reserves
of soil mobile phosphorus on soybean productivity in
the conditions of the forest-steppe
of the Southern Trans-Urals

Biology and biotechnologies

*N. V. Naumenko, R. I. Fatkullin,
O. P. Neverova, I. V. Kalinina*
197
Using the germination process to increase
the antioxidant properties of raw materials

A. F. Ryabukha, P. A. Kuzmin
207
Selection and optimization of DNA
extraction methods from the leaves
of *Gleditsia triacanthos* L.

V. O. Tsyganok, E. O. Tsyganok, A. A. Bakharev
218
The use of genomic assessment
in improving the productive qualities
of Holstein cows

Economy

E. A. Aleshina, D. V. Serdobintsev
232
Unified digital platform for system integration
of agricultural, processing and sales enterprises

N. A. Asanova, I. Yu. Zakharova
248
Human capital in the agro-industrial complex:
employment and income on the example
of the northern regions of the Krasnodar Territory

O. V. Isaeva
260
Assessment of the technical
and technological component of agriculture:
methodological approaches of development

L. A. Kalinina, I. A. Zelenskaya, N. V. Kalinin
273
Prospects of vegetable production
in horticultural non-profit partnerships of citizens

M. V. Kivarina
286
Regional digital platform for the agro-industrial
complex: efficiency assessment

Цифровая обработка фотометрических данных дистанционного зондирования полей озимой ржи

Н. И. Воробьев¹, Я. В. Пухальский^{2✉}, М. А. Астапова³, В. Г. Сурин⁴, В. Н. Пищик^{1, 4}

¹ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

² Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

³ Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ E-mail: puhalskyan@gmail.com

Аннотация. Целью работы являлась возможность использования нейронных сетевых структур системы искусственного интеллекта для обработки фотометрических данных дистанционного зондирования посевов озимой ржи, выращенных в условиях Ленинградской области на поле учебно-опытного сада СПбГАУ в 2014–2015 гг. **Методология и методы исследования.** В процессе культивирования растений были применены различные виды обработок: внесение минеральных удобрений, микроэлементов и микробного биопрепарата. Для обработки фотометрических данных был применен персептрон Розенблатта, анализирующий сходство и различия фотометрических NDVI-профилей посевов озимой ржи, полученных с разных вариантов опыта. **Результаты.** По числовым показателям вегетационных индексов удалось построить фазовые портреты траектории их перемещения на координатной плоскости поля. Дальнейший кластерный анализ полученных данных, преобразованных в квадратную матрицу парных евклидовых дистанций, позволил выделить на дендрограмме группировку вариантов, связующим компонентов в которых являлось применение микробиологического инокулянта. При применении биопрепарата происходит более полное развитие растений в посевах и улучшается их выравненность в поле. Минимальный показатель коэффициента вариации при этом наблюдался для варианта без применения биопрепарата, но с совместным использованием комплекса всех минеральных удобрений (50 фосмука + 50 КС1 + 50 аммиачная селитра) и микроэлементов в дозе 250 кг/га. **Научная новизна.** По итогу проведенного анализа можно сделать вывод, что образы траекторий точек NDVI-профилей предоставляют качественную информацию, отражающую динамику фаз онтогенеза растений озимой ржи. На основании характера выбранных участков этих траекторий можно создать цифровую карту опытного поля, с помощью которой вести протокол дистанционной диагностики состояния продуктивности посевов и делать прогноз их урожайности времени уборки.

Ключевые слова: пространственный фотометрический NDVI-профиль, озимая рожь; персептрон Розенблатта

Для цитирования: Воробьев Н. И., Пухальский Я. В., Астапова М. А., Сурин В. Г., Пищик В. Н. Цифровая обработка фотометрических данных дистанционного зондирования полей озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 152–162. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-152-162>.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0006. Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук ВНИИСХМ В. К. Чеботарю за предоставление биопрепаратов и консультации, кандидату сельскохозяйственных наук СПбГАУ С. А. Доброхотову за организацию проведения работ на участке.

Дата поступления статьи: 25.08.23, **дата рецензирования:** 17.10.2023, **дата принятия:** 24.11.2023.

Digital processing of photometric data of remote sensing of winter rye fields

N. I. Vorobyev¹, Ya. V. Pukhalskiy^{2✉}, M. A. Astapova³, V. G. Surin⁴, V. N. Pishchik^{1,4}

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

² Pushkin Leningrad State University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

³ Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

⁴ Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: pukhalskiyan@gmail.com

Abstract. Purpose. The paper considers the possibility of using neural network structures of an artificial intelligence system for processing photometric data of remote sensing of winter rye crops grown in the conditions of the Leningrad Region on the field of the educational and experimental garden of Saint Petersburg State Agrarian University in 2014–2015. **Methods.** In the process of cultivating plants, various types of treatments were applied: the application of mineral fertilizers, microelements and a microbial biological product. To process the photometric data, the Rosenblatt perceptron was used, which analyzes the similarities and differences in the photometric NDVI profiles of winter rye crops obtained from different variants of the experiment. **Results.** According to the numerical indicators of vegetation indices, it was possible to construct phase portraits of the trajectory of their movement on the coordinate plane of the field. Further cluster analysis of the data obtained, converted into a square matrix of paired Euclidean distances, made it possible to identify on the dendrogram a grouping of variants in which the connecting components were the use of a microbiological inoculant. When using a biological product, there is a more complete development of plants in crops and their evenness in the field improves. The minimum coefficient of variation was observed for the variant without the use of a biological product, but with the joint use of a complex of all mineral fertilizers (50 phosphorite flour + 50 KCl + 50 ammonium nitrate) and microelements at a dose of 250 kg/ha. Based on the results of the analysis, it can be concluded that the images of the trajectories of the points of the NDVI profiles provide qualitative information reflecting the dynamics of the ontogeny phases of winter rye plants. **Scientific novelty.** Based on the nature of the selected sections of these trajectories, it is possible to create a digital map of the experimental field, with the help of which to conduct a protocol for remote diagnostics of the state of crop productivity and make a forecast of their yield during harvesting.

Keywords: spatial photometric NDVI profile, *Secale cereale* (W) L.; Rosenblatt perceptron

For citation: Vorobyev N. I., Pukhalskiy Ya. V., Astapova M. A., Surin V. G., Pishchik V. N. Digital processing of photometric data of remote sensing of winter rye fields. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 152–162. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-152-162>. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the budget topic FFZF-2022-0006. The authors express their gratitude to the candidate of biological sciences of the All-Russian Research Institute of Agricultural Medicine V. K. Chebotar for providing biological products and consultations, and the candidate of agricultural sciences of the Saint Petersburg State Agrarian University S. A. Dobrokhotov for organizing the work at the site.

Date of paper submission: 25.08.23, **date of review:** 17.10.2023, **date of acceptance:** 24.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Озимая рожь (*Secale cereale* (W) L.) является наименее требовательной к почве зерновой культурой [1], которая отличается высокими вкусовыми качествами и содержит более полноценный белок, чем белок, получаемый из пшеницы, а также биологические стимуляторы и витамины. Еще из особенностей можно выделить, что культура слабо подвержена аллелопатическому влиянию сорных растений на ингибирование своего роста [2].

В мировом земледелии озимая рожь занимает одно из ведущих мест. В структуре посевных площадей России больше всего ее возделывают в республиках Татарстан и Башкортостан, а также Кировской, Брянской, Оренбургской, Саратовской и Самарской областях. В Нечерноземной зоне РФ из-за низкого уровня плодородия почв, а также нестабильных показателей климата существует определенная трудность заблаговременно определять объемы ожидаемой урожайности данной сельско-

хозяйственной культуры. Помимо общей неоднородности агрометеорологических условий зоны геоценоза, здесь также существует и территориальная мозаичность показателей почвенного плодородия, в результате чего даже в пределах одной выбранной фации педосферы сроки прохождения фаз вегетационного развития растений в общем цикле онтогенеза могут не совпадать по времени, и растения развиваются неодинаково.

Традиционно в системе оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства для прогнозирования и корректировки размеров возможного урожая различных культур, возделываемых в пределах конкретной территории выбранного поля, ежегодно на разных периодах вегетации рекомендуют проводить полевые исследования, связанные с выявлением определенной взаимосвязи между состоянием стеблестоя (продуктивностью растений) и показателями почвенного плодородия. Полевые исследования во многих случаях играют важную роль в обеспечении аэрокосмических данных. С их помощью осуществляется непрерывный мониторинг состояния посевов при высокой пространственной детальности. Для оценки созаисимости между вариабельностью всех биотических факторов внешней среды в пределах выбранного эдафотопы используют вегетационный индекс (NDVI). Он рассчитывается с помощью коэффициентов спектральной яркости посева в красной (U_r) и ближней инфракрасной (U_{ir}) областях спектра электромагнитных волн, а следовательно, может быть использован как одна из характеристик для оценки продуктивности сельскохозяйственных культур. На примере изучения различных сортовых особенностей озимой пшеницы, возделываемой на отдельных полях, была показана высокая корреляционная зависимость между получаемой урожайностью и оптико-биологическими свойствами посевов [3]. Большое влияние на данную связь оказывали такие элементы в технологии возделывания культуры, как сорт, предшественник, минеральное питание, сроки и нормы высева.

С начала 2000-х гг. с появлением ежедневно поставляемых снимков, получаемых аппаратурой MODIS, установленной на спутниках Terra и Aqua, появилась возможность регулярного анализа спектральных характеристик природных объектов. Однако спутниковые наблюдения имеют невысокое пространственное разрешение, около 0,25–1 км. Такое разрешение не позволяет в большинстве случаев проводить мониторинг посевов на конкретном поле. В полевых условиях пространственные вычисления значений NDVI-индексов ведут с помощью применения фотометрических тестеров [4], установленных на беспилотные летающие аппараты (БПЛА) [5]. В случае их отсутствия обычно

выбирается 10–20 тестовых площадок, и измерение значений индексов NDVI производят вручную на них. Использование активного зондирования с помощью оптических тестеров позволяет проводить такие работы с повышенной точностью в любое время суток независимо от погодных условий [6]. По итогу динамической фотосъемки составляется электронная карта [7] с изменениями в распределении индексов NDVI у возделываемых растений на разных участках опытного поля за вегетацию. Данные измерений могут использоваться для определения биометрических характеристик посевов, предсказания урожая в условиях стрессовых воздействий [8], которые сопровождаются процессами аккумуляции биофильных веществ в растениях. Поэтому важным является вопрос выделения на измерительной шкале NDVI «особых точек», связанных с такими межфазными переходами в развитии растений. Для корректных оценок статуса растений в посевах и проведения оптического фенотипирования предполагается также использование коэффициента вариации индекса CV-NDVI [9].

В рамках очередной начавшейся в стране волне информационно-коммуникационной революции (Индустрия 4.0) в производственный цикл получения растениеводческой продукции в сельском хозяйстве все более активно внедряются прорывные цифровые технологии (искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT), облачных технологий, программирования и роботоники) [10–12]. Однако даже в развитых странах этот процесс сдерживается из-за отсутствия на рынке интеллектуальных систем поддержки [13]. По факту на основе комбинированного учета данных, получаемых наземными и беспилотными методами, в системе точного земледелия (ТЗ) зерновых культур должен быть разработан прототип интеллектуальной системы принятия решений для поддержки плановых технологических операций в прецизионном производстве получения прогнозируемой районной урожайности растений [14]. В функциональный алгоритм разрабатываемой системы дистанционного зондирования посевов должны быть заложены возможные риски, связанные с математической моделью расчета лимитирующих факторов влияния климата [15; 16] и/или удобрений [17].

Цель работы состояла в описании и апробации такого алгоритма оценки продуктивности урожая озимой ржи, основанного на расчетах изменения индексов NDVI под влиянием применения разных удобрений.

Настоящая работа проводится в рамках программы совершенствования технологий выращивания полевых сельскохозяйственных культур в органическом земледелии с использованием микробиологических препаратов.

Методология и методы исследования (Methods)

Расчет был произведен по данным фотометрического тестирования посевов озимой ржи сорта Эра, полученных на поле учебно-опытного сада СПБГАУ в 2014–2015 гг., площадью 0,32 га. Почва участка дерново-подзолистая, суглинистая. Сев зерновых провели 6 сентября 2014 г. рядовым способом, с междурядьями 15 см. Норма высева семян составила 5,0 млн всхожих семян в расчете на 1 га. Схема опыта показана в таблице 1.

Микроэлементную добавку, содержащую Ca – 15 %, Mg – 6 %, S – 12 %, F – 0,5 %, B – 0,02 %, Cu – 0,02 %, Zn – 0,025 %, Mn – 0,11 %, вносили вместе с основными удобрениями при последней культивации, разбросав их по поверхности почвы и сразу заделав культиватором. По рекомендации завода-производителя микроэлементное удобрение надо применять при норме 2,0–3,0 т/га. Однако, учитывая их высокую стоимость, норму внесения уменьшили в 10 раз, до 250 кг/га, основываясь на данных агрохимического анализа почвы. Предшественником была вико-овсяная смесь, которую измельчили и заделали в почву за две недели до посева ржи. Обработка семян «Экстрасолом» проведена в день сева из расчета 1 л/т. В остальном все мероприятия по уходу за растениями были одинаковыми. В течение осеннего (2014 г.) и весенне-летнего (2015 г.) вегетационных периодов проводили тестирование посевов (16 измерений в каждом варианте опыта по двум шкалам

прибора). Одновременно определяли биометрические показатели развития культур (количество и вес зерен в колосе, кустистость, высоту, выживаемость растений). Уборку урожая и обмолот снопов проводили одновременно на всех делянках 6 августа 2015 г. в пяти пробных площадках размером 45 × 55,6 см каждая, площадью 0,25 м² (в трех смежных рядах). Снопы подсушивали, доводя влажность зерна до 14 %, обмолачивали, очищали от примесей и взвешивали с точностью до 1 г. Затем урожайность с учетной площадки пересчитывалась в ц/га.

Для каждого варианта с ноября 2014 г. по июнь 2015 г. всего было проведено по 11 измерений NDVI-профилей посевов озимой ржи с 7–10-дневным интервалом. Измерения *in situ* осуществлялись оптическим активным проксимальным тестером отечественного производства, аналогичным импортному сенсору GreenSeeker. Измерения проводились на каждой делянке, размером 10 × 1 м, с двух сторон. Итого каждый раз значения фиксировались в 12 повторностях, в разных точках, взятых равномерно. Высота тестера на вытянутых руках над растительным покровом составляла около 1,5 м. Определяемую величину NDVI рассчитывали по формуле

$$NDVI = (U_{ir} - U_r) / (U_{ir} + U_r), \quad (1)$$

где U_{ir} и U_r – коэффициенты яркости растительного полога (покрова) в красной и ближней инфракрасной областях спектра, равные 0,65 и 0,91 мкм.

Таблица 1
Варианты опыта по выращиванию озимой ржи сорта Эра

Вариант опыта	Микроэлементы, кг/га	NPK, кг д. в. / га	Применение препарата «Экстрасол»
1	250	50 фосмука + 50 KCl	нет
2	250	50 фосмука + 50 KCl + 50 аммиачная селитра	нет
3	0	50 фосмука + 50 KCl	да
4	0	50 фосмука + 50 KCl + 50 аммиачная селитра	да
5	0	50 суперфосфат + 50 KCl + 50 аммиачная селитра	да
6	0	0	да
7	0	0	нет

Примечание. Микроэлементы – микроэлементный комплексный препарат Буйского химического завода. Суперфосфат простой, фосмука – гранулированные. KCl – хлористый калий.

Table 1
Experimental options for growing winter rye variety Era

Experience variant	Microelements, kg/ha	NPK, kg of active substance per ha	The use of the biopreparation "Ekstrasol"
1	250	50 phosphorite flour + 50 KCl	No
2	250	50 phosphorite flour + 50 KCl + 50 ammonium nitrate	No
3	0	50 phosphorite flour + 50 KCl	Yes
4	0	50 phosphorite flour + 50 KCl + 50 ammonium nitrate	Yes
5	0	50 superphosphate + 50 KCl + 50 ammonium nitrate	Yes
6	0	0	Yes
7	0	0	No

Note. Trace elements is a microelement complex preparation of the Buyskiy chemical plant. Superphosphate ordinary, phosphorite flour – granular. KCl – potassium chloride.

Таблица 2
Средние значения индекса NDVI и CV-NDVI по вариантам дистанционных замеров с помощью двухканального Red/iRed-тестера

Даты замеров	Варианты опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Средний NDVI	0,232	0,318	0,243	0,301	0,287	0,225	0,208
Средний CV-NDVI, %	22,9	16,0	19,3	16,5	17,5	22,0	23,7

Table 2
Average values of the NDVI and CV-NDVI index by remote measurement options using a two-channel Red/iRed tester

Measurement dates	Experience variants						
	1	2	3	4	5	6	7
Average NDVI	0.232	0.318	0.243	0.301	0.287	0.225	0.208
Average CV-NDVI, %	22.9	16.0	19.3	16.5	17.5	22.0	23.7

Таблица 3
Биометрические характеристики растений озимой ржи сорта Эра по вариантам опыта

Показатели	Варианты опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Выживаемость растений, %	57	60	56	73	79	61	46
Высота растений, см	115,3	138,0	121,0	135,2	130,5	113,2	114,5
Продуктивная кустистость стеблей	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Коэффициент ковариации высоты растений, %	2,61	1,52	1,98	1,63	1,76	2,47	2,71
Урожайность, ц/га	40,9	53,0	39,0	45,7	44,5	36,3	26,5
Вес зерна главного колоса	1,43	1,76	1,38	1,25	1,12	1,18	1,16
Количество зерен в колосе, шт.	35,8	46,4	40,7	36,7	32,8	33,9	32,2
Вес 1000 семян, г	57,1	60,0	56,0	73,1	79,7	61,3	45,6

Table 3
Biometric characteristics of winter rye plants of the Era variety according to the experimental variants

Indicators	Experience variants						
	1	2	3	4	5	6	7
Plant survival, %	57	60	56	73	79	61	46
Plant height, cm	115.3	138.0	121.0	135.2	130.5	113.2	114.5
Productive bushiness of stems	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Coefficient of plant height covariance, %	2.61	1.52	1.98	1.63	1.76	2.47	2.71
Productivity, c/ha	40.9	53.0	39.0	45.7	44.5	36.3	26.5
Grain weight of the main ear	1.43	1.76	1.38	1.25	1.12	1.18	1.16
Number of grains in an ear, pcs	35.8	46.4	40.7	36.7	32.8	33.9	32.2
Weight of 1000 seeds, g	57.1	60.0	56.0	73.1	79.7	61.3	45.6

Тестер обеспечивал проведение измерений с высокой точностью (инструментальная погрешность в пределах 1 %) при разных погодных условиях и в любое время суток.

На основании формул (2)–(4) можно выделить три базовые характеристики – это медиана (M), доверительный интервал (CI) и коэффициент вариации (CV) NDVI-профиля.

$$M = 0,5 \cdot (NDVI_5 - NDVI_5) = 0,5 \cdot (0,177 + 0,194) = 0,186, \quad (2)$$

где $NDVI_5$, $NDVI_6$ – значения вегетационного индекса NDVI, находящиеся на пятой и шестой позициях в NDVI-профиле.

$$CI = 0,5 \cdot (NDVI_{10} + NDVI_9 + NDVI_2 + NDVI_1) = 0,5 \cdot (0,267 + 0,247 + 0,137 + 0,076) = 0,151, \quad (3)$$

где $NDVI_{10}$, $NDVI_9$, $NDVI_2$, $NDVI_1$ – значения вегетационного индекса NDVI, находящиеся в соответствующих позициях в NDVI-профиле.

$$CV = 0,5 \cdot CI/M = 0,5 \cdot 0,151/0,186 = 0,406, \quad (4)$$

где CI , M – доверительный интервал (2) и медиана (1) NDVI-профиля.

Коэффициенты корреляции между средними значениями NDVI, средним индексом вариации CV-NDVI и биометрическими характеристиками растений озимой ржи сорта Эра

Индекс	Выживаемость растений, %	Урожайность, ц/га	Высота растений, см	Коэффициент вариации высоты растений
Средние значения NDVI	0,67	0,92	0,98	-0,98
Средние значения CV-NDVI	-0,68	-0,85	-0,96	0,96

Примечание. Доверительный интервал для коэффициентов корреляции равен $\pm 0,03$.

Table 4

Correlation coefficients between mean NDVI values, mean CV-NDVI variation index, and biometric characteristics of Era winter rye plants

Index	Plant survival rate, %	Yield, c/ha	Plant height, cm	Coefficient of plant height variations
Average NDVI	0.67	0.92	0.98	-0.98
Mean CV-NDVI	-0.68	-0.85	-0.96	0.96

Note. Confidence interval for correlation coefficients is ± 0.03 .

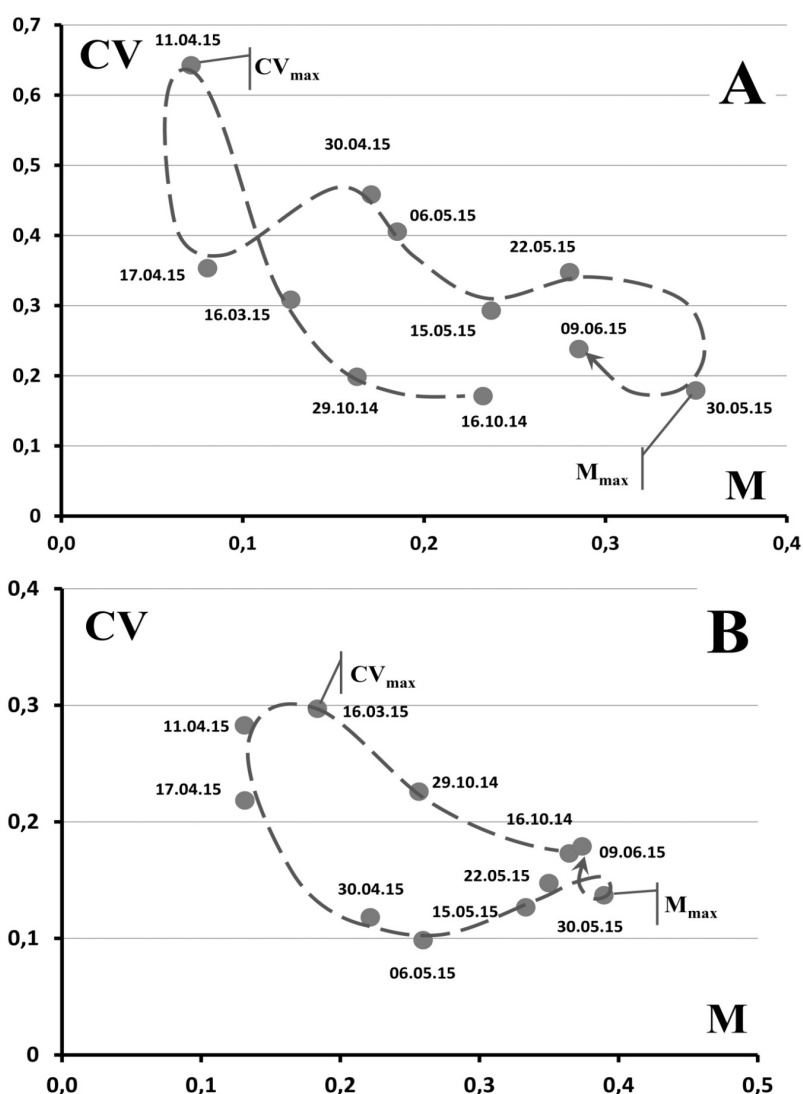


Рис. 1. Фазовые портреты траектории (пунктирная линия) точки, представляющей NDVI-профиль посева озимой ржи в вариантах опыта № 7 (А) и № 5 (В). Даты вблизи точек обозначают время измерения фотометрического NDVI-профиля

Fig. 1. Phase portraits of the trajectory (dotted line) of the point, representing the NDVI-profile of sowing winter rye in the variants of experience № 7 (A) and № 5 (B). Dates near the points indicate the time when the photometric NDVI profile was measured

Результаты (Results)

Измеренные значения индексов- NDVI по вариантам опыта представлены в таблице 2.

Биометрические характеристики выращенных растений представлены в таблице 3. Выявлено, что наибольшее влияние на урожай ($Y = 53,0$ кг/га) дает применение минерального комплекса (мк): P50, K50, N50, на варианте № 2. На втором месте с близкими показателями по урожайности (45,7 и 44,5 кг/га) варианты 4 и 5 с «Экстрасолом».

Коэффициенты корреляции между средними значениями NDVI и CV-NDVI с биометрическими характеристиками растений представлены в таблице 4. Существенные коэффициенты корреляции средних значений NDVI и CV-NDVI с биометрическими характеристиками растений за период вегетации растений создают возможность в оперативном режиме отслеживать особенности развития растений, по особым точкам динамики этих значений классифицировать стрессовые реакции растений, определять наилучшие технологии выращивания сельскохозяйственных культур, оптимальные сроки уборки и объем урожая.

В изменяющихся погодных условиях лучшим вариантом прогноза урожая может быть тот, что проводится по всему массиву усредненных данных NDVI:

$$Y_m = 173NDVI - 2,2(R_m^2 = 0,81), Y_m - Ext = 129NDVI + 8,6(R_m^2 = 0,99), \quad (5)$$

При этом лучший прогноз обеспечивается для вариантов с «Экстрасолом».

Прогноз урожая через CV-NDVI менее достоверный. Но на вариантах с «Экстрасолом» он надежнее:

$$Y_m CV = -135CV \cdot NDVI + 65(R_m^2 = 0,32), Y_m CV = -230 CV \cdot NDVI + 77(R_m^2 = 0,59), \quad (6)$$

Соотношения CV-NDVI (NDVI) являются своеобразными оптическими портретами (образами) различных технологий возделывания во временном масштабе (по фенофазам). По итогу измерений для каждого варианта опыта удалось построить фазовые портреты траектории перемещения на координатной плоскости ($X = M$; $Y = CV$) точки, представляющей NDVI-профиль. Наиболее четкими были линейные зависимости, зафиксированные на контрольном (эталонном) варианте N7, который имитирует естественный природный фон (рис. 1).

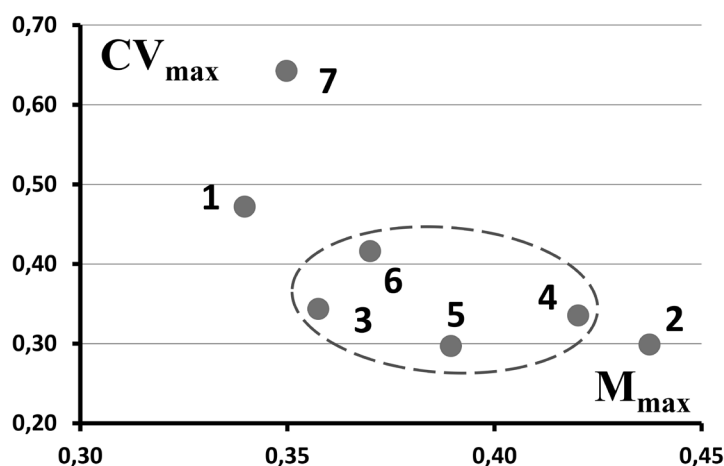


Рис. 2. Группировка вариантов опыта с применением микробиологического препарата «Экстрасол» в кластер (эллипс – пунктирная линия) поблизости значений M_{max} и CV_{max}

Fig. 2. Grouping of experimental options using the microbiological preparation “Ekstrasol” into a cluster (ellipse – dotted line) near the values of M_{max} and CV_{max}

Таблица 5
Значения особых точек фазовых траекторий по вариантам опыта

Вариант опыта	M_{max}	CV_{max}
1	0,340	0,472
2	0,437	0,299
3	0,357	0,344
4	0,420	0,335
5	0,389	0,297
6	0,370	0,416
7	0,350	0,643

Примечание. Номера вариантов опыта соответствуют номерам в таблице 1.

Table 5
Values of singular points of phase trajectories by experiment options

Experience variants	M_{max}	CV_{max}
1	0.340	0.472
2	0.437	0.299
3	0.357	0.344
4	0.420	0.335
5	0.389	0.297
6	0.370	0.416
7	0.350	0.643

Note. Numbers of experiment options correspond to the numbers in Table 1.

Особыми точками фазовых траекторий перемещения точек NDVI-профилей являются максимальные значения коэффициентов M_{max} и CV_{max} (таблица 5).

На координатной плоскости (рис. 2) представлена группировка точек, изображающих сходства вариантов в опыте.

Дальнейшая обработка фотометрических данных предполагает проведение кластерного анализа. Для этого значения преобразуются в квадратную матрицу парных евклидовых дистанций (таблица 6).

Евклидова дистанция в двумерном пространстве $\{M_{max}, CV_{max}\}$ рассчитывалась по следующей формуле.

$$D_{2,7} = 1/D_{max} \cdot \sqrt{(M_2 - M_7)^2 + (V_2 - V_7)^2} = 1/0,335 \cdot \sqrt{(0,437 - 0,350)^2 + (0,472 - 0,643)^2} = 0,335/0,335 = 1, \quad (7)$$

где M_2 и M_7 – значения M_{max} для вариантов № 2 и № 7 опыта; V_1 и V_4 – значения CV_{max} для вариантов № 2

и № 7 опыта, D_{max} – максимальная дистанция между вариантами № 2 и № 7.

Используя данные матрицы евклидовых дистанций между вариантами опыта и алгоритм кластеризации «дальний сосед», удалось построить дендрограмму группировки вариантов опыта (рис. 3).

Условием для выделения кластера на дендрограмме (рис. 4) была максимальная относительная дистанция в кластере между вариантами опыта ($D \leq 0,5$). Таким образом, в кластере оказались варианты опыта (№ 3, 4, 5, 6), в которых применялся микробиологический препарат «Экстрасол».

Логистика проделанных выше преобразований данных фотометрических NDVI-профилей посевов озимой ржи может быть реализована в рамках простой модели нейронных сетевых структур системы ИИ [18–20] – персептроном Розенблатта (рис. 4).

Таблица 6
Матрица евклидовых дистанций между вариантами опыта
Table 6
Matrix of Euclidean distances between test options

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0,561	0,365	0,447	0,513	0,179	0,482
2	0,561	0	0,258	0,114	0,135	0,382	1,000
3	0,365	0,258	0	0,178	0,159	0,207	0,843
4	0,447	0,114	0,178	0	0,139	0,268	0,889
5	0,513	0,135	0,159	0,139	0	0,340	0,981
6	0,179	0,382	0,207	0,268	0,340	0	0,641
7	0,482	1,000	0,843	0,889	0,981	0,641	0

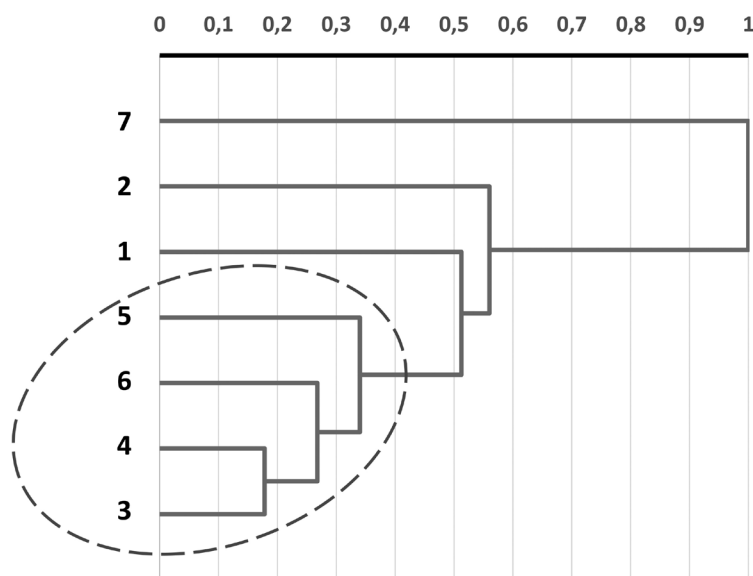


Рис. 3. Дендрограммы кластеризации вариантов опыта. Пунктиром выделены варианты опыта, объединившиеся в кластер. Цифры в основании дендрограммы обозначают номера вариантов опыта

Fig. 3. Dendrograms of experience variants clustering. The dotted line indicates the variants of the experiment, united in a cluster. The numbers at the base of the dendrogram indicate the numbers of the experiment options

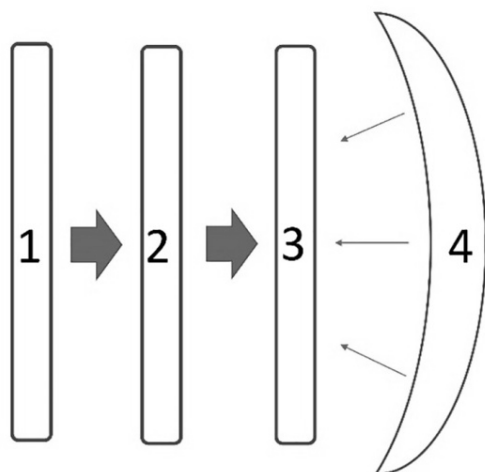


Рис. 4. Схема четырехслойного персептрона: 1 – слой исходной информации (массив значений вегетационного индекса NDVI), 2 – слой вторичной информации (значения параметров M , CI , CV NDVI-профилей), 3 – слой третичной информации (фазовые портреты), кластеризация вариантов опыта по близости значений M_{max} и CV_{max} , 4 – слой ассоциативной информации, характеризующей объективные причины и условия, определившие особенности траекторий точек NDVI-профилей и кластеризацию вариантов опыта

Fig. 4. Scheme of a four-layer perceptron: 1 – layer of initial information (an array of values of the vegetation index NDVI), 2 – layer of secondary information (values of parameters M , CI , CV of NDVI profiles), 3 – layer of tertiary information (phase portraits), clustering of experiment options by the proximity of M_{max} and CV_{max} values), 4 – layer of associative information, characterizing objective causes and conditions, determined the features of the NDVI-profile point trajectories and the clustering of experiment options

Привлечение ассоциативной информации для обработки фотометрических данных (4-й слой персептрона) необходимо для выбора той агротехнологии, которая способствует полноценному онтогенезу растений и улучшению выравненности посевов ржи, то есть снижению коэффициента CV фотометрического профиля NDVI.

Логистика персептрона позволяет сформулировать неконкретный ответ на поставленные вопросы. Получается, что с применением микробиологического препарата «Экстрасол» происходит более полное развитие растений и улучшается выравненность растений в поле ($CV_{max} < 0,42$). Однако остается необъяснимым $CV_{max} = 0,299$ в варианте опыта № 2.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Образы траекторий точек NDVI-профилей предоставляют качественную информацию, отражающую динамику фаз онтогенеза растений озимой ржи. На основании характера участков этих траекторий можно создать цифровую систему ИИ, с помощью которой можно будет дистанционно диагностировать созревание растений и определять время уборки урожая.

В дальнейшем планируется апробация предложенного метода прогноза ожидаемой урожайности озимой ржи с учетом осеннего, зимнего и ранневесеннего периодов по другим субъектам РФ, а также продолжение исследований по дальнейшему усовершенствованию и автоматизации расчетов изменения индексов NDVI, основанных на динамико-статистическом учете фазовой перехода траекторий точек на портрете изучаемого поля.

Библиографический список

1. Каргатова А. М., Степанов С. А., Ермолаева Т. Я., Нуждина Н. Н. Биологические особенности продуктивности различных селекционно-генетических форм озимой ржи // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17. № 1. С. 48–52.
2. Турсумбекова Г. Ш. Аллелопатическое влияние вытяжек сорных растений на семена и проростки зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2014. № 4 (28). С. 38–40.
3. Сторчак И. Г., Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В. Связь урожайности посевов озимой пшеницы с NDVI для отдельных полей // Аграрный вестник Урала. 2018. № 6. С. 64–68. DOI: 10.25930/awm3-sw92.
4. Михайленко И. М., Воронков И. Н. Научно-методические и алгоритмические основы оценивания показателей продуктивности и фитосанитарного состояния посевов по данным дистанционного зондирования земли // Агрофизика. 2016. № 1. С. 32–42.
5. Paul K., Chatterjee S. S., Pai P., Varshney A., Juikar S., Prasad V., Dasgupta S. Viable smart sensors and their application in data driven agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 198. Article number 107096. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107096.
6. Muñoz-Huerta R. F., Guevara-Gonzalez R. G., Contreras-Medina L. M., Torres-Pacheco I. L., Prado-Olivarez J., Ocampo-Velazquez R. V. A Review of Methods for Sensing the Nitrogen Status in Plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances // Sensors. 2013. Vol. 13. Pp. 10823–10843. DOI: 10.3390/s130810823.
7. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Шерстобитов С. В., Гунгер М. В., Петухов Д. А. Использование беспилотного летательного аппарата для мониторинга за состоянием агроценозов и составления электронных карт полей // Земледелие. 2021. № 8. С. 8–12. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-8-8-12.
8. Wang R., Cherkauer K., Bowling L. Corn Response to Climate Stress Detected with satellite based NDVI series // Remote sensing. 2016. Vol. 23. Pp. 269–287. DOI: 10.3390/rs8040269.
9. Ghanem M. E., Marrou H., Sinclair T. R. Physiological phenotyping of plants for crop improvement // Trends in Plant Science. 2015. Vol. 20. No. 3. Pp. 139–144. DOI: 10.1016/j.tplants.2014.11.006.

10. Koptilina D., Bulgakov A., Aleshina A. "Big data" and the "Internet of things", or what accelerates the development of the agro-industrial complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 274. No. 1. Article number 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/274/1/012058.
11. Zolkin A. L., Burda A. G., Avdeev Y. M., Fakhertdinova D. I. The main areas of application of information and digital technologies in the agro-industrial complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. No. 3. Article number 032092. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032092.
12. Стомба Е. В., Шарафутдинов А. Г., Горбунова О. С., Арасланбаев И. В., Стомба А. В., Даминева Э. Р. Роль цифровых технологий в развитии деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 3-2. С. 225–232.
13. Якушев В. П., Якушев В. В., Матвеев Д. А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии // Земледелие. 2020. № 1. С. 33–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10109.
14. Van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 177. Article number 105709. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105709.
15. Malhi G. S., Kaur M., Kaushik P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review // Sustainability. 2021. Vol. 13. No. 3. Article number 1318. DOI: 10.3390/su13031318.
16. Karimi V., Karami E., Keshavarz M. Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran // Journal of Integrative Agriculture. 2018. Vol. 17. No. 1. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61794-5.
17. Brühl C. A., Zaller J. G. Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides // Frontiers in Environmental Science. 2019. Vol. 7. Article number 177. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00177.
18. Wu Y., Feng J. Development and application of artificial neural network // Wireless Personal Communications. 2018. Vol. 102. Pp. 1645–1656. DOI: 10.1007/s11277-017-5224-x.
19. Saltykov M., Yakubailik O., Bartsev S. Identification of vegetation types and its boundaries using artificial neural networks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537. No. 6. Article number 062001. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062001.
20. Esau T. J., Hennessy P. J., MacEachern C. B. Artificial intelligence and deep learning applications for agriculture // Precision Agriculture. Academic Press, 2023. Pp. 141–167. DOI: 10.1016/B978-0-443-18953-1.00003-9.

Об авторах:

Николай Иванович Воробьев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, (ФГБНУ ВНИИСХМ), Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; ORCID 0000-0001-8300-2287, AuthorID 86787. E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru

Ян Викторович Пухальский, научный сотрудник, Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. E-mail: puhalskyan@gmail.com

Марина Алексеевна Астапова, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-9121-894X, AuthorID 1102940. E-mail: marinaastapova55@gmail.com

Владимир Георгиевич Сурин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-3091-5370, AuthorID 142124

Вероника Николаевна Пищик, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, (ФГБНУ ВНИИСХМ), Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; старший научный сотрудник, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-6422-4837, AuthorID 107711

References

1. Kargatova A. M., Stepanov S. A., Ermolaeva T. Y., Nuzhdina N. N. Biological Characteristics of Productivity of Various Breeding and Genetic Forms Winter Rye. *Izvestiya of Saratov University. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2017; 17 (1): 48–52. (In Russ.)
2. Tursumbekova G. Sh. Allelopathic effect of weed extracts on seeds and seedlings of grain crops. *Agro-Food Policy in Russia*. 2014; 4 (28): 38–40.
3. Storchak I. G., Shestakova E. O., Eroshenko F. V. Influence of elements of technology on crop productivity and NDVI of wheat sowings. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018; 6; 64–68. DOI: 10.25930/awm3-sw92. (In Russ.)
4. Mikhaylenko I. M., Voronkov I. N. Scientific, methodical and algorithmic basics for estimating productivity indicators and phytosanitary state of crops using remote sensing data. *Agrofizika*. 2016; 1: 32–42. (In Russ.)

5. Paul K., Chatterjee S. S., Pai P., Varshney A., Juikar S., Prasad V., Dasgupta S. Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022; 198: 107096. DOI: 10.1016/j.compag.2022.107096.
6. Muñoz-Huerta R. F., Guevara-Gonzalez R. G., Contreras-Medina L. M., Torres-Pacheco I. L., Prado-Olivarez J., Ocampo-Velazquez R. V. A Review of Methods for Sensing the Nitrogen Status in Plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances. *Sensors*. 2013; 13: 10823–10843. DOI: 10.3390/s130810823.
7. Abramov N. V., Semizorov S. A., Sherstobitov S. V., Gunger M. V., Petukhov D. A. Use of unmanned aerial vehicles for monitoring the condition of agricultural lands for making electronic field maps. *Zemledelie*. 2021; 8: 8–12. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-8-8-12. (In Russ.)
8. Wang R., Cherkauer K., Bowling L. Corn Response to Climate Stress Detected with satellite based NDVI series. *Remote sensing*. 2016; 23: 269–287. DOI: 10.3390/rs8040269.
9. Ghanem M. E., Marrou H., Sinclair T. R. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. *Trends in Plant Science*. 2015; 20 (3): 139–144. DOI: 10.1016/j.tplants.2014.11.006.
10. Koptilina D., Bulgakov A., Aleshina A. “Big data” and the “Internet of things”, or what accelerates the development of the agro-industrial complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 274 (1): 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/274/1/012058.
11. Zolkin A. L., Burda A. G., Avdeev Y. M., Fakhertdinova D. I. The main areas of application of information and digital technologies in the agro-industrial complex. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 677 (3): 032092. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032092.
12. Stovba E. V., Sharafutdinov A. G., Gorbunova O. S., Araslanbaev I. V., Stovba A. V., Damineva E. R. The role of digital technologies in the development of agricultural producers’ activities. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2021; 3-2: 225–232. (In Russ.)
13. Yakushev V. P., Yakushev V. V., Matveenko D. A. Intelligent systems for technology decision support in precision agriculture. *Zemledelie*. 2020; 1: 33–37. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10109. (In Russ.)
14. Van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 177: 105709. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105709.
15. Malhi G. S., Kaur M., Kaushik P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*. 2021; 13 (3): 1318. DOI: 10.3390/su13031318.
16. Karimi V., Karami E., Keshavarz M. Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018; 17 (1). DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61794-5.
17. Brühl C. A., Zaller J. G. Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. *Frontiers in Environmental Science*. 2019; 7: 177. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00177.
18. Wu Y., Feng J. Development and application of artificial neural network *Wireless Personal Communications*. 2018; 102: 1645–1656. DOI: 10.1007/s11277-017-5224-x.
19. Saltykov M., Yakubailik O., Bartsev S. Identification of vegetation types and its boundaries using artificial neural networks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 537 (6): 062001. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062001.
20. Esau T. J., Hennessy P. J., MacEachern C. B. Artificial intelligence and deep learning applications for agriculture. *Precision Agriculture*. Academic Press, 2023. Pp. 141–167. DOI: 10.1016/B978-0-443-18953-1.00003-9.

Authors’ information:

Nikolay I. Vorobyev, candidate of technical sciences, leading researcher, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; ORCID 0000-0001-8300-2287, AuthorID 86787. *E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru*

Yan V. Pukhalskiy, researcher, Pushkin Leningrad State University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. *E-mail: puhalskiyan@gmail.com*

Marina A. Astapova, junior researcher, Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-9121-894X, AuthorID 1102940. *E-mail: marinaastapova55@gmail.com*

Vladimir G. Surin, candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-3091-5370, AuthorID 142124

Veronika N. Pishchik, candidate of biological sciences, senior researcher, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; senior researcher, Agrophysical Institute of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-6422-4837, AuthorID 107711

Поле люпина – способ биологизации севооборота и основа плодородия

Е. И. Исаева✉, Г. Л. Яговенко

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия

✉E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является оценка различных способов возделывания люпина в севообороте как фактора его биологизации и сохранения плодородия почвы. **Научная новизна.** Во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина на серой лесной легкосуглинистой почве юго-запада Нечерноземной зоны Брянского региона проведено исследование по изучению влияния различных способов возделывания люпина в севообороте на продуктивность культур и плодородие почвы. **Методы.** Наблюдения проведены в течение двух контрастных временных периодов. Первый период, 1999–2003 гг., в третьей ротации двух пятипольных севооборотов «овес – люпин – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница» и «сидеральный пар – озимая пшеница – люпин – кормовая свекла – ячмень». Второй период, 2010–2015 гг., во второй ротации двух шестипольных севооборотов «рапс яровой – люпин – ячмень – рапс озимый – люпин – яровая пшеница» и «сидеральный пар – озимая тритикале – люпин – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень». **Результаты.** Было выявлено, что введение в севооборот сидерального поля люпина наряду с полем люпина на семенные цели обеспечивало стабилизацию, и рост продуктивности культур во времени при полном отсутствии химической нагрузки на 1 га с 43,6 т/га до 44,4 т/га в среднем за период с 1999 по 2003 гг. и с 12,9 до 13,9 т за период 2010–2015 гг. Использование люпина в сидеральном пару севооборота способствует стабилизации плодородия почвы. Происходит увеличение содержания гумуса как с 1999 по 2003 гг. на 0,08 %, так и с 2010 по 2015 гг. – на 0,08 %, причем в альтернативной технологии возделывания культур, полностью лишенной применения каких-либо средств химизации, при которой является непосредственное действие самого севооборота. Это подтверждается положительным балансом от 0,06 т/га при минимальной степени химизации до 0,15 при интенсивной химизации гектара севооборотной площади.

Ключевые слова: севооборот, удобрение, сидерация, люпин, плодородие, урожайность

Для цитирования: Исаева Е. И., Яговенко Г. Л. Поле люпина – способ биологизации севооборота и основа плодородия // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 163–171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-163-171>.

Дата поступления статьи: 22.06.2023, **дата рецензирования:** 14.08.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

The lupine field as a method of biologization crop rotation and the base for fertility

E. I. Isaeva✉, G. L. Yagovenko

The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia

✉E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to evaluate different ways of lupine cultivation in a crop rotation as a factor for its biologization and soil fertility's conservation. **Scientific novelty.** The effect of different techniques of lupine cultivation in a crop rotation on the productivity and soil fertility has been studied in the All-Russian Lupine Scientific Research Institute on the gray forest sandy-loam soil like loam of the Non-Chernozem zone of

Bryansk region. **Methods.** The tests have been done during two contrast periods. The first period, 1999–2003, is the third rotation of two five-field crop rotations “oat – lupine – fodder beet – barley – winter wheat” and “green-manure fallow – winter wheat – lupine – fodder beet – barley”. The second one, 2010 – 2015, is the second rotation of two six-field crop rotations “spring rape – lupine – barley – winter rape – lupine – spring wheat” and “green manure fallow – winter triticale – lupine – spring wheat – spring rape – barley”. **Results.** It was revealed that the inclusion of lupine green manure field together with lupine field for grain provided the stability and the average crop productivity increase in time as in the complete absence of chemical load from 43.6 t/ha to 44.4 t/ha in 1999–2003, and from 12.9 t/ha to 13.9 t/ha in 2010–2015. Lupine use for the green-manured fallow in a crop rotation contributes to the stability of soil fertility. The humus content increased by 0.08 % both in 1999–2003 and in 2010–2015 by 0.08 %; it occurs at alternative crop cultivation technology which is completely chemicals free when there is a possibility to observe direct action of the crop rotation itself. It is confirmed by a positive balance from 0.06 t/ha at the minimal level of chemicals’ use to 0.15 t/ha at intensive chemicals’ use per a hectare of the crop rotation area.

Keywords: crop rotation, fertilizer, green manuring, lupine, fertility, yield

For citation: Isaeva E. I., Yagovenko G. L. The lupine field as a method of biologization crop rotation and the base for fertility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (02): 163–171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-02-163-171>.

Date of paper submission: 22.06.2023, **date of review:** 14.08.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Интерес к культуре люпина достаточно высок. Однако широкое его использование ограничивается рядом факторов, одним из которых, по нашему мнению, является недооценка значения этой культуры непосредственно на пашне. На пахотных землях в последние 30 лет практически не вносятся органические удобрения. Общепринятой тенденцией стало использование «быстрой» минеральной формы, позволяющей интенсифицировать гектар пашни здесь и сейчас, не закладывая перспективы воспроизводства почвенного плодородия во времени. Необходима рациональная комбинация минеральных и органических видов удобрений в зависимости от степени «износа» органического вещества той или иной почвы. К почве необходимо относиться не как к субстрату, а как к живой экосистеме. Минеральные удобрения, как правило, питают растение, но не насыщают почву, поскольку их синтетические питательные формы не могут вступить в биологический круговорот веществ, поддерживать и активизировать естественные процессы в природе. Поэтому остается актуальным вопрос внедрения органоминеральных систем удобрений при производстве сельскохозяйственной продукции в полевых условиях [1; 2].

Азот является основным элементом питания растений, но его вынос из почвы урожаем культивируемых растений преобладает над поступлением. Как следствие, происходит реорганизация органического вещества почвы, что приводит к истощению гумусового слоя. Вынос мобильного азота с урожаем не возобновляется, и его баланс получается отрицательным, не выходя даже на простое воспроизводство в регионах России. Роль сельско-

хозяйственных культур в регулировании почвенного плодородия и стабилизации среды почвенного профиля не соответствует их возможностям. Урожайность в результате интенсивной обработки гектара пашни формируется в основном за счёт минерализации органического вещества и запасного азотного фонда естественного плодородия почвы, что в итоге приводит к утрате энергетического баланса почвы [3–5].

В современных условиях ведения хозяйства остро назревает необходимость поиска решений по регулированию режима органического вещества и вариантов накопления биологического азота агроэкосистемой естественным путем. Есть два основных способа введения в агрофитоценозы органики – это «животный» и «растительный». Тем не менее в современных укладах ведения хозяйства значительная их часть зернового направления. Поэтому они не имеют животных или птицы, следовательно, не применяют навоз в качестве органического удобрения. Путем решения данной проблемы является внедрение в севообороты этих хозяйств культур, которые обеспечивают севооборотную площадь самым доступным и самовосстанавливающимся биологическим азотным удобрением. Сидерацию нужно рассматривать как использование одной культуры для создания благоприятных условий развития другой и индентифицировать с системой растениеводства, которая определяется почвенно-климатическими условиями и структурой посевных площадей. Сущность биологизации земледелия в первую очередь в том, чтобы поддерживать круговорот вещества и энергии в агроэкосистемах, уделяя особое внимание биологическому азоту [1; 6].

Плодородие почвы является материальной основой урожая. Потеря почвой ее естественного плодородия, ее деградация, при любых условиях, приводит к падению урожайности сельскохозяйственных культур во времени. Даже длительное применение минеральных удобрений в севообороте не способствует стабилизации данного процесса. Решению этого вопроса может содействовать введение в севооборот зернобобовых культур. Ярким представителем этой группы сельскохозяйственных растений является люпин, который может сыграть основную роль в стабилизации естественного цикла органического вещества и азота в почве, «поскольку его органическая масса минерализуется быстрее других растительных остатков и в большей степени гумифицируется с образованием „лабильных“ гумусовых веществ, которые являются показателем эффективного плодородия почвы» [7–9].

Люпин – это ценное звено севооборота при концентрации и специализации возделывания зерновых культур, поскольку современное сельскохозяйственное производство России может рассчитывать в основном на биологический путь интенсификации производства продуктов питания, кормов для животных и сырья для перерабатывающей промышленности. Сейчас на первый план выходит производство прибыльной продукции, то есть с наименьшими затратами, более качественной и конкурентоспособной на рынке. Этого можно добиться путем биологической интенсификации продукционных и средообразующих процессов, ведущих к росту продуктивности с сохранением окружающей среды при наименьших техногенных затратах. В конкретном хозяйстве, севообороте и поле исходным и конечным пунктами системы земледелия являются рациональное использование каждого гектара пашни, каждого миллиметра осадков и килограмма удобрений, каждой калории солнечного света, упавшей на поверхность поля [10–13]. Люпин занимает в севообороте совершенно особое место, так как имеет самый экологически чистый и энергосберегающий механизм накопления азота в почве за счет работы клубеньковых бактерий, при этом сам возделывается без внесения минеральной формы, значительно разгружая гектар севооборотной площади от химической нагрузки. Урожай биомассы люпина может варьировать от 30 до 60 т/га, или 2–8 т/га сухого вещества. При полной заправке биомассы в почву поступает от 100 до 250 кг азота, 30–90 кг P_2O_5 и 35–250 кг K_2O .

По валовому содержанию азота зеленая масса люпина близка к навозу (люпин – 2,1 %, навоз – 2,65 % к сухой массе). Коэффициент использования азота люпина – 20–25 %, т. е. не меньше, чем навоза. Однолетний люпин, возделываемый на корм, оставляет 0,8–1,6 т/га корневых и пожнивных остатков.

Многолетний люпин накапливает до 20–30 т/га и более корней, из которых при коэффициенте гумификации 0,15–0,20 в почве образуется до 2–4 т/га свежего гумуса. Заправка всей массы люпина на удобрение, исходя из содержания в ней азота, может заменить собой внесение в почву 30–40 тонн навоза.

При фиксации молекулярного азота первичным продуктом является аммоний, который потом выводится из бактериоидов в растительные клетки как продукт обмена, впоследствии ассимилируется с образованием аминокислот и аминов. В дальнейшем азот транспортируется по ксилеме в форме аспарагиновой и глутаминовой аминокислот. Люпин относится к так называемым амидным бобовым, поэтому важно отметить, что он обладает более высокой симбиотической эффективностью, чем, например, соя и фасоль. Доля фиксированного азота в общем азоте урожая у люпина достигает 90 %. Вследствие узкого соотношения между углеродом и азотом запаханная биомасса люпина минерализуется быстрее растительных остатков других культур. Особенно эффективно и экономически выгодно применение сидеральных удобрений на удаленных полях сельхозпредприятий [14; 15].

Методология и методы исследований (Methods)

Цель исследований – оценка различных способов возделывания люпина в севообороте как фактора его биологизации и сохранения плодородия почвы.

Почва опытного поля серая лесная, развивающаяся на лессовидном карбонатном суглинке. По гранулометрическому составу легкосуглинистая. Глубина пахотного слоя – 20–27 см, с плотностью сложения в слое 0–10 см 1,24 г/см³ почвы и 1,38 г/см³ в слое 10–20 см. До закладки стационарного опыта в слое почвы 0–20 см содержание гумуса по Тюрину было 2,8–3,0 %, подвижного фосфора по Кирсанову – свыше 30 мг на 100 грамм почвы, обменного калия по Масловой 16–19 мг / 100 г почвы. Реакция почвенного раствора слабокислая ближе к нейтральной, рН солевой вытяжки 5,8–6,0 и степень насыщенности основаниями 85–90 %.

Экспериментальная работа осуществлялась в длительном стационарном опыте Всероссийского научно-исследовательского института люпина в 1999–2003 гг., 2010–2015 гг. в севооборотах:

1. Овес – люпин узколистый (семена) – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница (1999–2003 гг.).
2. Сидеральный пар (люпин узколистый) – озимая пшеница – люпин узколистый (семена) – кормовая свекла – ячмень (1999–2003 гг.).
3. Рапс яровой – люпин узколистый (семена) – ячмень – рапс озимый – люпин узколистый (семена) – яровая пшеница (2010–2015 гг.).

4. Сидеральный пар (люпин узколистный) – озимая тритикале – люпин узколистный (семена) – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень (2010–2015 гг.).

На каждый вариант чередований (2010–2015 гг.), накладываются технологические схемы возделывания культур (степень химизации):

1. Альтернативная (АТ) – полное отсутствие внесения минеральных удобрений, первичная защита растений – протравливание, агротехнические способы борьбы с сорняками (довсходовое и послеваходовое боронование поперек посева).

2. Интенсивная (ИТ) – система удобрений – на 1 га д. в.; рапс яровой Подмосковный – N150, ячмень Раушан – N180P120K120, рапс озимый Северянин – N180, яровая пшеница Ирень – N120P120K120, система защиты – применение полного спектра защитных мер от болезней, вредителей, сорных растений для каждой культуры.

В 1999–2003 гг. фоны удобрений; фон без удобрений и максимальный NPK: озимая пшеница Московская 39 – N90 P90 K60, ячмень Раушан – N90P60K90, кормовая свекла – N90+30 P85 K200, овес Комес – N60P60K60.

Независимо от целевого назначения люпина в севооборотах (семена или сидерация) удобрений под него не вносили во все годы исследований.

Система защиты – согласно списку разрешенных препаратов на территории Российской Федерации. Использовались общепринятые нормы высева семян: люпин – 1,2 млн шт., овес – 5,5 млн шт., пшеница озимая – 5,5 млн шт., тритикале озимая – 5,5 млн шт.

Уборку культур проводили прямым комбайнированием. Учет урожая возделываемых культур проводился сплошным поделяночным взвешиванием со всех делянок и повторений. Урожай зерна приводился к стандартной влажности 14% и чистоте 100 %.

На сидеральные цели высевались два сорта люпина узколистного. С 1999 по 2003 гг. сорт Брянский 123 с технологической спелостью зеленой массы (фаза блестящего боба) – 55–60 дней при урожайности укосной массы 4,0–6,0 т/га. В период с 2010 по 2015 гг. высевался сорт Сидерат 38, который по настоящее время включен в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации и разрешен к использованию в производстве по Центральному, Северо-Западному и Волго-Вятскому регионам России. Технологическая спелость для запашки наступает в среднем на 60-й день после посева, что примерно соответствует по времени второй половине июля, и фазе развития «блестящий боб». Урожай укосной массы составляет 4,5–5,0 т/га. Данный сорт относится к быстрорастущим, интенсивно наращивает зеленую массу, поэтому его также можно возделывать поукосно и пожнивно в севообороте. Применение минеральных удобрений не требуется.

Эффективным агроприемом может служить перераспределение удобрений во времени в севообороте. Возможно внесение дозы удобрений основной культуры под сидерат, что приведет к увеличению урожайности укосной массы, поступившей под последующую культуру. При этом поступят органические вещества и элементы питания в наиболее доступной форме, чем при непосредственном использовании минеральных удобрений.

Результаты (Results)

Продуктивность культур севооборота наряду со структурой посевных площадей в современном земледелии относят к основным, регулируемым низкочастотным факторам поддержания бездефицитного баланса гумуса. С ростом урожайности увеличивается поступление в почву органического вещества корневых и пожнивных остатков полевых культур. Средние показатели урожайности культур при сравнительно высокой обеспеченности почвы питательными веществами не показали резких перепадов в зависимости от количества полей и культур севооборота. С агрономической точки зрения все севообороты пригодны для возделывания данных культур. Стоит отметить, что люпин узколистный практически не реагировал на последствие интенсивной степени химизации в севообороте, обеспечивая достаточно высокие урожаи как без применения минеральной формы удобрений в севообороте (1999–2003 гг.) – 2,3 и 2,2 т/га, так и при полном отсутствии средств химизации, (2010–2015 гг.) в альтернативной технологии возделывания – 2,1, 2,3, 2,5 т/га (таблицы 1, 2).

Введение в севооборот сидерального парового поля люпина увеличивало суммарный выход товарной продукции с 1 га по севообороту, несмотря на то что продуктивность данного поля как бы «выпадала» из товарного учета и запахивалась. Четко прослеживается не только стабилизация урожайности культур во времени, но и ее увеличение. В частности, урожайность озимой пшеницы после сидерального люпинового пара увеличилась на 0,5 т/га в среднем за 1999–2003 гг.

В варианте без применения удобрений суммарная продуктивность гектара севооборотной площади в севообороте с полем люпина на семена составила 43,6 т/га, при введении в севооборот поля люпина на сидерацию продуктивность увеличилась до 44,4 т/га в среднем за 5 лет исследований (таблица 1).

В севооборотах с крестоцветной составляющей, яровым и озимым рапсом, при альтернативной технологии, с полным освобождением от химической нагрузки увеличение урожайности составило 1 т/га площади севооборота (таблица 2).

Уровень содержания органического вещества является основой плодородия почвы. Использование люпина в качестве удобрения для пополнения ор-

ганического вещества и азота почвы имеет давнюю историю. Большинство исследований подтверждается, что «в севооборотах с сидеральным паром содержание гумуса стабилизируется на исходном уровне». В опытах ВНИИ люпина, проведенных в 1999–2003 и 2010–2015 гг., данный факт подтверждается (таблицы 1, 2). В пятипольном севообороте с сидеральным паром содержание гумуса в почве увеличилось за третью ротацию на 0,08 % в варианте без применения удобрений. В аналогичном севообороте, но без люпинового пара содержание гумуса снизилось за пять лет на 0,07 %. Стоит отметить, что одна и та же доза минерального удобрения

в севообороте с люпиновым паром привела к повышению содержания гумуса с 3,15 до 3,17 %, в то время как в севообороте без сидерации позволила лишь поддерживать количество гумуса на исходном уровне 3,12–3,11 % (таблица 1).

Исследования, проведенные в 2010–2015 гг., также констатируют стабилизацию гумуса на исходном уровне в севооборотах с люпином на семенные цели, а в севообороте с сидеральным люпиновым паром происходит увеличение содержания гумуса за шесть лет на 0,08 %, причем в альтернативной технологии возделывания культур, при которой выявляется непосредственное действие самого севооборота (таблица 2).

Таблица 1

Урожай основной продукции и баланс гумуса в севооборотах с люпином при разных способах его использования, среднее за период 1999–2003 гг.

Культуры	Урожайность, т/га		Содержание гумуса, %				Баланс гумуса, т/га	
	б/у	NPK	б/у		NPK		б/у	NPK
			1999	2003	1999	2003		
Овес – люпин (зерно) – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница								
Овес	2,9	4,8						
Люпин	2,3	2,5						
Кормовая свекла	32,2	42,6						
Ячмень	2,6	4,0						
Озимая пшеница	3,6	5,9						
По севообороту	43,6	59,8	2,90	2,83	3,12	3,11	-0,24	-0,15
Сидеральный пар – озимая пшеница – люпин (зерно) – кормовая свекла – ячмень								
Сидеральный пар	42,3	43,5						
Озимая пшеница	4,1	6,5						
Люпин	2,2	2,6						
Кормовая свекла	35,2	46,6						
Ячмень	2,9	4,8						
По севообороту	44,4	60,5	3,01	3,09	3,15	3,17	+0,06	+0,13

Примечание. Б/у – без удобрений.

Table 1

The yield of the main products and the humus balance in lupin crop rotation at different methods of its use, the average for 1999–2003

Crops	Yield, t/ha		Humus content, %				Humus balance, t/ha	
	f/f	NPK	f/f		NPK		f/f	NPK
			1999	2003	1999	2003		
Oat – lupine (grain) – mangold – barley – winter wheat								
Oat	2.9	4.8						
Lupine	2.3	2.5						
Mangold	32.2	42.6						
Barley	2.6	4.0						
Winter wheat	3.6	5.9						
For crop rotation	43.6	59.8	2.90	2.83	3.12	3.11	-0.24	-0.15
Green-manured fallow – winter wheat – lupine (grain) – mangold – barley								
Green-manured fallow	42.3	43.5						
Winter wheat	4.1	6.5						
Lupine	2.2	2.6						
Mangold	35.2	46.6						
Barley	2.9	4.8						
For crop rotation	44.4	60.5	3.01	3.09	3.15	3.17	+0.06	+0.13

Note. F/f – fertilizers free.

Таблица 2

Урожай основной продукции и баланс гумуса в севооборотах с люпином при разных способах его использования, среднее за период 2010–2015 гг.

Агротехнологии

Культуры	Урожайность, т/га		Содержание гумуса, %				Баланс гумуса, т/га	
	АТ	ИТ	АТ		ИТ		АТ	ИТ
			2010	2015	2010	2015		
Рапс яровой – люпин – ячмень – рапс озимый – люпин – яровая пшеница								
Рапс яровой	1,3	1,7						
Люпин	2,1	2,5						
Ячмень	2,5	4,5						
Рапс озимый	2,1	3,2						
Люпин	2,3	2,7						
Яровая пшеница	2,6	3,9						
По севообороту	12,9	18,5	3,09	3,01	3,16	3,13	-0,19	-0,13
Сидеральный пар – озимая тритикале – люпин – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень								
Сидеральный пар	42,0	45,1						
Озимая тритикале	4,0	5,6						
Люпин	2,5	2,9						
Яровая пшеница	2,9	4,2						
Рапс яровой	1,5	2,4						
Ячмень	3,0	4,3						
По севообороту	13,9	19,4	3,21	3,29	3,25	3,32	+0,09	+0,15

Примечание. АТ – альтернативная технология, ИТ – интенсивная технология.

Table 2

The yield of the main products and the humus balance in lupin crop rotation at different methods of its use, the average for 2010–2015

Crops	The yield, t/ha		Humus content, %				Humus balance, t/ha	
	АТ	ИТ	АТ		ИТ		АТ	ИТ
			2010	2015	2010	2015		
Spring rape – lupine – barley – winter rape – lupine – spring wheat								
Spring rape	1.3	1.7						
Lupine	2.1	2.5						
Barley	2.5	4.5						
Winter rape	2.1	3.2						
Lupine	2.3	2.7						
Spring wheat	2.6	3.9						
For crop rotation	12.9	18.5	3.09	3.01	3.16	3.13	-0.19	-0.13
Green-manured fallow – winter triticale – lupine – spring wheat – spring rape – barley								
Green-manured fallow	42.0	45.1						
Winter triticale	4.0	5.6						
Lupine	2.5	2.9						
Spring wheat	2.9	4.2						
Spring rape	1.5	2.4						
Barley	3.0	4.3						
For crop rotation	13.9	19.4	3.21	3.29	3.25	3.32	+0.09	+0.15

Note. АТ – alternative technology, ИТ – intensive technology.

Проведенные балансовые расчеты показали, что в севооборотах с полем люпина на семенные цели не удалось достичь бездефицитного баланса гумуса как при низких степенях химизации, так и при интенсивных химических нагрузках гектара.

В севообороте с пропашным полем (1999–2003 гг.) в варианте без применения удобрений баланс гумуса составлял $-0,24$ т/га, при применении полного NPK баланс также был отрицательным ($-0,15$), хотя снижение было меньше. Таким образом, подтвердились полученные другими учеными данные о том, что при возделывании пропашных культур без органических удобрений в почве складывается отрицательный баланс органического вещества, в частности гумуса [16].

Введение в севооборот второго поля люпина на семенные цели и прекращение возделывания пропашных при введении рапса снижало темпы минерализации гумуса. В данном севообороте увеличилось поступление растительных остатков, при альтернативной технологии поступало около $6,0$ т/га, при интенсивной – $6,9$ т/га. Но все же это не привело даже к простому воспроизводству органического вещества, баланс гумуса был отрицательным: $-0,19$ т/га при альтернативной технологии, $-0,13$ т/га при интенсивной (таблица 2).

Максимальное новообразование гумуса отмечено в севооборотах с сидеральным люпиновым паром, что способствовало не только компенсации его потерь, но и прирост. В 1998–2003 гг. в варианте без удобрений баланс составил $+0,06$ т/га, в вари-

анте с полной дозой удобрений $+0,13$ т/га. С 2010 по 2015 гг. в севообороте зернового направления баланс гумуса был еще более положительным: при альтернативной технологии $+0,09$ т/га, при интенсивной $+0,15$ т/га.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изученные способы возделывания люпина в севообороте показали разное влияние на воспроизводство и накопление гумуса серой лесной почвой. Наибольшее новообразование гумуса выявлено в севообороте, где люпин высевался на сидеральные цели. Данный факт подтверждается балансом. С 1998 по 2003 гг. в варианте без удобрений баланс составил $+0,06$ т/га, в варианте с полной дозой удобрений $+0,13$ т/га. С 2010 по 2015 гг. в севообороте зернового направления баланс составил при альтернативной технологии $+0,09$ т/га. При включении в севооборот сидерального поля люпина происходит увеличение продуктивности всех культур во все периоды исследований. В среднем за пять лет (1999–2003 гг.) суммарная продуктивность гектара севооборота с сидеральным паром составила $44,4$ т/га, а севооборота с люпином на семена – $43,6$ т/га. В период 2010–2015 гг. при возделывании люпина на семенные цели продуктивность гектара без применения средств химизации составила $12,9$ т/га, при введении в севооборот сидерального поля – $13,9$ т/га. Причем сам люпин не реагировал на увеличение степени химизации гектара пашни, обеспечивая высокую продуктивность в вариантах без применения средств химизации.

Библиографический список

1. Эседулаев С. Т., Мельцаев И. Г. Биологизированные севообороты – основной фактор повышения плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности пашни в Верхневолжье // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (109). С. 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300.42959538.
2. Просянников Е. В. Агрохимические аспекты устойчивого земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2019. № 5. С. 13–16. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10068.
3. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. Москва: РАН, 2018. 180 с.
4. Исаева Е. И., Афонина Е. В., Ляпченков В. А. Корма на основе люпина // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. Москва, 2018. Вып. 17 (65). С. 15–22.
5. Яковлев А. С., Макаров О. А., Евдокимова М. В., Огородников С. С. Деградация земель и проблемы устойчивого развития // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1167–1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149.
6. Кудяров В. Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X.
7. Сычев В. Г., Шевцов Л. К., Беличенко М. В., Рухович О. В., Иванова О. И. Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильный состав основных зональных типов почв // Плодородие. 2019. № 2 (107). С. 3–6. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.01.
8. Чеботарев Н. Т., Юдин А. А., Конкин П. И. Влияние длительного применения удобрений в кормовом севообороте на плодородие и продуктивность дерново-подзолистой почвы в условиях Европейского Северо-Востока // Аграрный вестник Урала. 2018. № 10 (177). С. 23–28. DOI: 10.32417/article_5claSfaa30e523/76893969.
9. Лукин С. М., Золкина Е. И., Марчун Е. В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. 2021. № 3. С. 93–98. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.18.

10. Захарова М. А., Юмашев Х. С., Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2. С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.

11. Русакова И. В. Микробиологические и экофизиологические параметры дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений и их связь с урожайностью // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 1. С. 153–162. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.153rus.

12. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V. Evaluation of the modern lupine varieties developed in the All-Russian Lupin Scientific Research Institute // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Article number 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012096.

13. Сычев В. Г., Шафран С. А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2 (107). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.07.

14. Артюхов А. И., Селиванова М. А., Исаева Е. И. Адаптация видов люпина в агроландшафты России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография в 5 томах. Т. 4. Оптимизация сельскохозяйственных ландшафтов. Москва, 2018. С. 78–83. DOI: 10.25680/6578.2018.64.40.280.

15. Yagovenko G. L., Lukashevitch M. I., Ageeva P. A., Novik N.V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.

16. Дедов Ф. В., Несмеянова М. А. Влияние пропашных культур и паров на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборотов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 33–36.

Об авторах:

Елена Ивановна Исаева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник направления «Земледелие», Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия; ORCID 0000-0002-9352-5329, AuthorID 702830. E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Герман Леонидович Яговенко, доктор сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия; ORCID 0000-0003-3205-230X, AuthorID 819501

References

1. Esedulaev S. T., Biologized crop rotation – the main factor for fertility increases of sod-podzolic soils and arable land productivity in the Upper Volga. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 11 (109): 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300/42959538. (In Russ.)

2. Prosyannikov E. V. Agrochemical aspects of sustainable agriculture. *Agricultural biology*. 2019; 5: 13–16. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10068. (In Russ.)

3. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Nitrogen in the agrosystem on the Chernozem soils. Moscow: RAN, 2018. 180 p. (In Russ.)

4. Isaeva E. I., Afonina E. V., Lyapchenkov V. A. Lupine-based feed. *Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific papers*. Moscow, 2018. Vol. 17 (65). Pp. 15–22. (In Russ.)

5. Yakovlev A. S., Makarov O. A., Land degradation and sustainable development issues. *Eurasian Soil Science*. 2018; 9: 1167–1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149. (In Russ.)

6. Kudiyarov V. N. Soil-biogeochemical aspects of arable farming in the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*. 2019; 1. Pp: 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X. (In Russ.)

7. Sychev V. G., Shevtsov L. K., Belichenko M. V., Rukhovich O. V., Ivanova O. I. Effect of long-term application of various fertilizer systems on organoprofile of main zonal soil types. *Plodородие*. 2019; 2 (107): 3–6. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.01. (In Russ.)

8. Chebotarev N. T., Yudin A. A., Konkin P. I. Influence of long-term application of fertilizers in fodder crop rotation on fertility and productivity of sod-podzolic soil in the conditions of Euro-Northeast. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018; 10 (177): 23–28. DOI: 10.32417/article_5claSfaa30e523/76893969. (In Russ.)

9. Lukin S. M., Zolkina E. I., Marchun E. V. Influence of long-term fertilizers application on the crop rotation productivity, content and composition of soil organic matter. *Plodородие*. 2021; 3: 93–98. DOI:10.25680/S19948603.2021.120.18. (In Russ.)

10. Zakharova M. A., Yumashev Kh. S. Chernozem humus state change of the Chelyabinsk Region as an agricultural use result. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 2: 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russ.)

11. Rusakova I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield. *Agricultural Biology*. 2020; 55 (1): 153–162. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.153rus. (In Russ.)
12. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V. Evaluation of the modern lupine varieties developed in the All-Russian Lupine Scientific Research Institute. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2022: 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012096.
13. Sychev V. G., Shafran S. A. Forecast of the fertility of soils of the nonchernozem belt depending on the level of using fertilizers. *Plodородiye*. 2019; 2 (107): 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.07. (In Russ.)
14. Artyukhov A. I., Selivanova M. A., Isayeva E. I. Lupine species' adaptation to Russian agro-landscapes. *New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia: monograph in 5 volumes. Vol. 4. Optimization of agricultural landscapes*. Moscow, 2018. Pp. 78–83. DOI: 10.25680/6578.2018.64.40.280. (In Russ.)
15. Yagovenko G. L., Lukashevitch M. I., Ageeva P. A., Novik N.V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021: 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.
16. Dedov F. V., Nesmeyanova M. A. The influence of row crops and fallows on soil fertility indicators and crop rotation productivity. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2018; 4: 33–36. (In Russ.)

Authors' information:

Elena I. Isaeva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the department of farming, The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia; ORCID 0000-0002-9352-5329, AuthorID 702830. *E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru*

German L. Yagovenko, doctor of agricultural sciences, director, The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia; ORCID 0000-0003-3205-230X, AuthorID 819501

Урожайность сортов яровой пшеницы на фоне разных приемов основной обработки почвы в засушливых условиях

А. Л. Панфилов[✉], Р. Р. Абдрашитов

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

[✉]E-mail: panfilov-1@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся данные о запасах продуктивной влаги, содержании нитратного азота, урожайности сортов яровой пшеницы при выращивании на разных фонах основной обработки почвы. **Цель исследований** – изучение реакции сортов яровой мягкой и твердой пшеницы на приемы основной обработки почвы. **Методы.** Объект исследований – 3 сорта яровой мягкой пшеницы и 2 сорта яровой твердой пшеницы. Опыты проводились в центральной зоне Оренбургской области. В течение 5 лет изучались два варианта основной обработки почвы: вспашка на глубину 23–25 см и безотвальное рыхление на 25–27 см. **Научная новизна.** Выявлена реакция сортов яровой пшеницы на приемы основной обработки почвы с учетом запасов продуктивной влаги и содержания нитратного азота в почве, в засушливых условиях Оренбургского Приуралья. **Результаты.** Запасы продуктивной влаги в фазу всходов яровой пшеницы в метровом слое почвы четыре года из пяти лет проведения исследований были удовлетворительными (менее 130 мм), один год – хорошими (150–153 мм). Преимущество безотвальной обработки почвы отмечалось во все годы исследований, за исключением 2019 г., когда на отвальном фоне содержалось почвенной влаги на 18 мм больше. В зависимости от погодных условий количество нитратного азота в почве изменялось от очень низких значений в 2022 г. до высоких и очень высоких значений в 2017 г. и 2019–2020 гг. Урожайность яровой пшеницы в среднем по опыту была на 0,6 ц с 1 га выше на фоне безотвального рыхления. Установлена сортовая реакция на приемы основной обработки почвы. Сорт Учитель не реагировал на приемы обработки. По другим сортам разница в пользу безотвальной обработки почвы составляла от 0,4 ц с 1 га по сорту Тулайковская золотистая, до 0,7–0,8 ц с 1 га у сортов Ульяновская 105, Оренбургская 10, Безенчукская 210.

Ключевые слова: приемы обработки почвы, яровая пшеница, сорт, вспашка, безотвальное рыхление, урожайность, продуктивная влага, нитратный азот

Для цитирования: Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р. Урожайность сортов яровой пшеницы на фоне разных приемов основной обработки почвы в засушливых условиях Оренбургского Приуралья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 172–184. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-172-184>.

Благодарности. Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021–2030 гг. ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» в рамках Государственного задания по теме FNWZ-2022-0014.

Дата поступления статьи: 21.08.2023, **дата рецензирования:** 20.10.2023, **дата принятия:** 24.11.2023.

Productivity of spring wheat varieties against the background of different methods of basic tillage in arid conditions

A. L. Panfilov[✉], R. R. Abdrashitov

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

[✉]E-mail: panfilov-1@mail.ru

Abstract. The article provides data on the reserves of productive moisture, the content of nitrate nitrogen, and the yield of spring wheat varieties when grown under different backgrounds of basic tillage. **The purpose** of the research is to study the response of spring soft and durum wheat varieties to the methods of basic tillage. **Methods.** The object of research is 3 varieties of spring soft wheat and 2 varieties of spring durum wheat. The experiments were carried out in the central zone of the Orenburg region. For 5 years, two options for basic soil cultivation were studied: plowing to a depth of 23–25 cm and moldless loosening to a depth of 25–27 cm. **Scientific novelty.** The reaction of spring wheat varieties to the methods of basic tillage, taking into account the reserves of productive moisture and the content of nitrate nitrogen in the soil, in the arid conditions of the Orenburg Cis-Urals was revealed. **Results.** The reserves of productive moisture during the sprouting phase of spring wheat in a meter layer of soil were satisfactory (less than 130 mm) for four years out of five years of research, and good for one year (150–153 mm). The advantage of non-moldboard tillage was noted in all years of research with the exception of 2019, when the mouldboard background contained 18 mm more soil moisture. Depending on weather conditions, the amount of nitrate nitrogen in the soil varied from very low values in 2022 to high and very high values in 2017 and 2019–2020. The yield of spring wheat, on average according to experience, was 0.6 c per 1 ha higher against the background of moldless loosening. The varietal response to basic soil tillage methods has been established. The Uchitel' variety did not respond to processing techniques. For other varieties, the difference in favor of non-moldboard tillage ranged from 0.4 centners per 1 hectare for the Tulaykovskaya zolotistaya variety, to 0.7–0.8 centners per 1 hectare for the varieties Ul'yanovskaya 105, Orenburgskaya 10, Bezenchukskaya 210.

Keywords: tillage methods, spring wheat, variety, plowing, moldboard loosening, productivity, productive moisture, nitrate nitrogen

For citation: Panfilov A. L., Abdrashitov R. R. Productivity of spring wheat varieties against the background of different methods of basic tillage in arid conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 172–184. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-172-184>. (In Russ.)

Acknowledgements. The research was carried out in accordance with the research plan for 2021–2030 of Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences” within the framework of the State assignment on the topic FNWZ-2022-0014.

Date of paper submission: 21.08.2023, **date of review:** 20.10.2023, **date of acceptance:** 24.11.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Основная обработка почвы является важнейшим элементом в технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Нарастание засушливости климата, а также поиск новых подходов к приемам осенней обработки почвы ставят вопросы адаптации сортов к современным реалиям в агротехнике возделывания культур.

Оренбургская область относится к зоне рискованного земледелия. Погодные условия в период вегетации отличаются резкой засушливостью, частота и степень проявления которых в последние годы возрастают.

В дискуссиях о роли и месте различных способов основной обработки почвы ещё до конца не определено преобладающее значение только одного приёма (отвальная обработка, безотвальное рыхление, минимальная и др.).

Эффективность различных приемов осенней обработки почвы определяется почвенно-климатическими особенностями регионов. Так, в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины (Кемеровская область) установлена эффективность отвальной минимальной системы обработки [1, с. 19], так же как и в северной лесостепи Тюменской области, где преимущество вспашки проявилось в срав-

нении с безотвальной и минимальной обработками [2, с. 559], По данным С. С. Миллер и В. А. Антропова [3, с. 49], безотвальная обработка уступала отвальной и дифференцированной (сочетания вспашки с рыхлением в севообороте) обработкам почвы.

По данным D. Janauskaite, G. Kadziene [4, p. 1], наиболее благоприятные условия для фотосинтетических процессов в растениях выявлены при глубокой вспашке, а прямой посев оказывал негативное влияние на фотохимическую активность, ускоряя старение листьев.

В исследованиях Ульяновского НИИСХ [5, с. 71], большой сбор зерна с 1 га обеспечивала комбинированная система обработки почвы (безотвальные мелкие обработки под озимые, глубокая вспашка под горох и безотвальное рыхление на глубину 20–22 см под остальные культуры севооборота). При посеве по необработанной зяби вследствие уплотнения ее сложения в сравнении со вспашкой урожайность яровой пшеницы снижалась на 19,5–21,3 % [6, с. 113]. Изучение агрофизических свойств почвы при различных приемах основной обработки позволило установить преимущество вспашки на 20–22 см в сравнении с безотвальным рыхлением по показателям плотности почвы, общей пористости и аэрации [7, с. 35].

По данным А. Ленточкина и др. [8, с. 119], приемы и системы зяблевой обработки почвы не оказывали существенного влияния на плотность пахотного слоя в конце вегетации, а наибольшую урожайность обеспечивала отвальная обработка почвы. Вспашка параллельно с увеличением интенсивности обработки почвы снижает содержание органического вещества в пахотном слое почвы [9, p. 2]. При этом снижаются такие свойства почвы, как стабильность агрегатов, пористость, водоудерживающая способность.

В условиях Ростовской области стабильно высокую урожайность озимой пшеницы обеспечивает нулевая обработка почвы за счет меньшего перегрева (температура на 11,48 % ниже, чем при отвальной обработке) и повышенной (на 13,19 %, чем при вспашке) влажности почвы [10, с. 191]. В умеренно засушливой зоне Алтайского края [11, с. 9] в сухие годы отличий по обработкам почвы (вспашка, поверхностная обработка дисковой бороной, глубокая плоскорезная обработка) не наблюдалось, а во влажные годы установлена эффективность от обработки дисковой бороной на глубину 8–14 см. Мелкая обработка на 10–12 см также оказалась наиболее выгодным приемом основной обработки и в условиях Среднего Поволжья [12, с. 152–155], в то время как в Саратовском Заволжье в сравнении со вспашкой получена прибавка в 2,3 % в урожае озимой пшеницы на фоне безотвальной обработки и снижение на 13,7 % в сравнении с минимальной об-

работкой почвы [13, с. 539]. По данным Г. К. Марковской, О. А. Чугуновой [14, с. 8], целесообразна минимизация обработки почвы под посевы ячменя вплоть до полного отказа от нее.

Нулевая и минимальная обработки почвы с оставлением стерни оказывают положительное влияние на плодородие почвы и повышают урожайность сельскохозяйственных культур [15, p. 8]. Преимущество нулевой обработки почвы проявляется в районах с достаточным количеством выпадающих осадков [16, p. 10].

Важным недостатком применения нулевой обработки почвы является увеличение количества и видового состава сорных растений и снижение эффективности в борьбе с ними по сравнению с отвальной обработкой, то есть снижение интенсивности обработки почвы может привести к изменению видового состава сорной растительности [17, p. 1].

Такие же закономерности были обнаружены и в исследованиях M. L. Gandía et al. [18, p. 1], когда беспашотные системы обработки почвы демонстрировали более высокую плотность и разнообразие сорных растений, чем традиционные и минимальные.

В определении конечных результатов обработки почвы важно учитывать региональные закономерности, специфичные для конкретных участков почвенных и хозяйственных переменных [19, p. 12].

Особенности сортовой технологии применительно к разным приемам основной обработки почвы изучены мало.

Цель исследований – изучение реакции сортов яровой мягкой и твердой пшеницы на приемы основной обработки почвы.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в 2017–2020 гг., 2022 г. в центральной зоне Оренбургской области на базе опытного участка Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Схема двухфакторного опыта: 2А × 5В, где:

Фактор А – прием основной обработки почвы:

- 1) вспашка на глубину 23–25 см плугом ПН-5-35;
- 2) безотвальное рыхление на глубину 25–27 см стойками СибИМЭ.

Фактор В – сорт яровой пшеницы:

- 1) яровая мягкая пшеница Учитель;
- 2) яровая мягкая пшеница Тулайковская золотистая;
- 3) яровая мягкая пшеница Ульяновская 105;
- 4) яровая твердая пшеница Оренбургская 10;
- 5) яровая твердая пшеница Безенчукская 210.

Агротехника в опытах соответствовала требованиям технологии возделывания яровой пшеницы в зоне проведения исследований и состояла из осенней закладки вариантов опыта по предшественнику

яровая мягкая пшеница; весной проводилось закрытие влаги зубowymi боронами БЗСС-1,0 в два следа, предпосевная культивация культиватором КПС-4 на 6–8 см, посев сортов яровой пшеницы поперек вариантов основной обработки почвы – сеялкой СН-16 ПМ нормой высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га, после посева – прикатывание кольча-

то-шпоровыми катками ККШ-6. Уборка – комбайном Terrion SR 2010 в фазу полной спелости.

Почва опытного участка – чернозем южный, тяжелосуглинистый, маломощный, карбонатный. Содержание гумуса в верхнем горизонте (0–30 см) составляет 4,2–4,5 %.

Таблица 1

Метеорологические условия вегетации яровой пшеницы (данные Метеостанции Оренбурга)

Месяц	Температура воздуха, °C			Осадки, мм		Средний дефицит влажности воздуха, мбар	ГТК, ед.
	Средняя	Отклонение от нормы, +/-	Максимальная	Сумма, мм	% от нормы		
2017 г.							
Май	14,3	-1,0	27	32	120	9	0,72
Июнь	18,2	-2,3	33	39	106	10	0,71
Июль	22,7	+0,6	38	33	85	15	0,47
2018 г.							
Май	16,6	+1,3	33	30	111	11	0,58
Июнь	18,8	-1,7	35	19	51	10	0,34
Июль	24,6	+2,5	40	20	51	18	0,26
2019 г.							
Май	17,8	+2,5	33	23	84	14	0,42
Июнь	21,5	+1,0	36	6	16	15	0,09
Июль	22,3	+0,2	37	105	269	15	1,52
2020 г.							
Май	17,0	+1,7	35	29	108	10	0,55
Июнь	20,1	-0,4	34	22	58	14	0,36
Июль	25,8	+3,7	40	7	18	23	0,09
2022 г.							
Май	12,2	-3,7	27	106	341	6	2,80
Июнь	19,8	-0,8	34	24	70	11	0,40
Июль	22,6	+0,5	35	53	127	14	0,76

Table 1

Meteorological conditions of spring wheat vegetation (Orenburg Weather Station data)

Month	Air temperature, °C			Precipitation, mm		Average air humidity deficit, millibar	HTC, units
	Average	Deviation from the norm, +/-	Maximum	Amount, mm	% of norm		
2017							
May	14.3	-1.0	27	32	120	9	0.72
June	18.2	-2.3	33	39	106	10	0.71
July	22.7	+0.6	38	33	85	15	0.47
2018							
May	16.6	+1.3	33	30	111	11	0.58
June	18.8	-1.7	35	19	51	10	0.34
July	24.6	+2.5	40	20	51	18	0.26
2019							
May	17.8	+2.5	33	23	84	14	0.42
June	21.5	+1.0	36	6	16	15	0.09
July	22.3	+0.2	37	105	269	15	1.52
2020							
May	17.0	+1.7	35	29	108	10	0.55
June	20.1	-0.4	34	22	58	14	0.36
July	25.8	+3.7	40	7	18	23	0.09
2022							
May	12.2	-3.7	27	106	341	6	2.80
June	19.8	-0.8	34	24	70	11	0.40
July	22.6	+0.5	35	53	127	14	0.76

Опыты закладывались в соответствии с методикой Б. А. Доспехова [20]. Общая площадь делянки составляла 66 кв. м, учетная – 58 кв. м. Повторность опытов – четырехкратная. Размещение делянок – систематическое, в один ярус. Контрольный вариант в опыте – сорт Учитель, посеянный по вспашке.

Определение количества продуктивной влаги в почве проводилось термостатно-весовым методом в фазы всходов, колошения, полной спелости. Отбор проб осуществлялся ручным почвенным буром на глубину 1 м через каждые 10 см. Высушивание почвы – в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянного веса.

Содержание нитратного азота в почве проводилось по ГОСТ 26951-86 «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом». Аммонийный азот в почве определяли в соответствии с ГОСТ 26489-85 «Определение обменного аммония по методу ЦИНАО».

Погодные условия были благоприятными в 2017 и 2022 гг. и засушливыми в 2018–2020 гг. (таблица 1).

В 2017 и 2022 гг. формирование урожая яровой пшеницы проходило на фоне пониженной средней температуры воздуха в мае и июне и оптимального количества осадков в эти месяцы.

В мае 2022 г. количество выпавших осадков составило 341 % от нормы. Отсутствие осадков в июле не оказало отрицательного влияния на налив зерна, так как температурный режим воздуха был оптимальным.

В остальные годы условия мая отличались высокой температурой воздуха как по средним значениям, так и по максимальным, на фоне малого количества осадков в 2019 г. и достаточного их количества в 2018 г. и 2020 г. В результате предпосылки к формированию полноценного урожая резко снижались. Июнь был критическим по сумме осадков (27,8–76,7 %), и, несмотря на благоприятные температурные градиенты по средним значениям, отмечались высокие значения максимальной температуры (+35...+37 °С). Погодные условия июля были засушливыми по всем критериям оценок (средняя

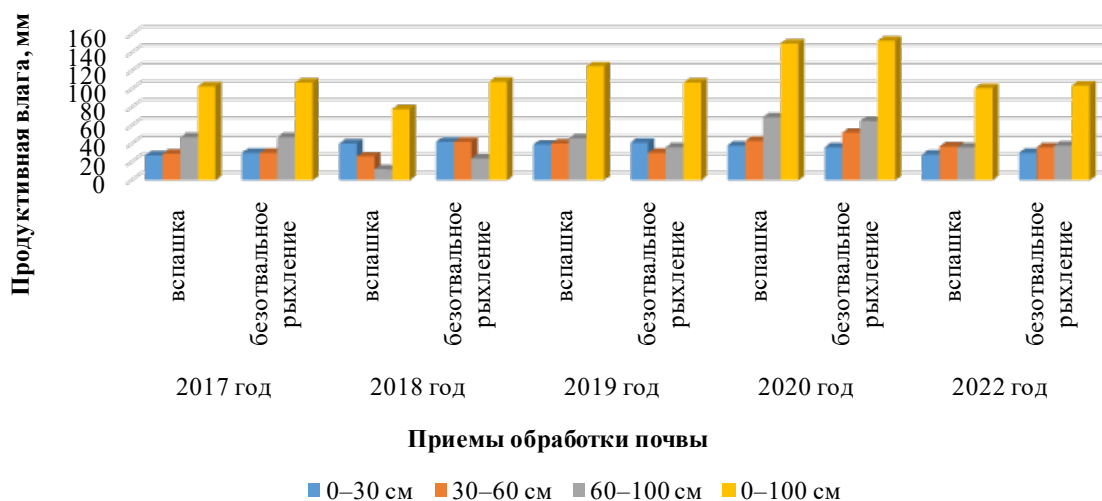


Рис. 1. Содержание продуктивной влаги в фазе всходов яровой пшеницы на разных фонах основной обработки почвы

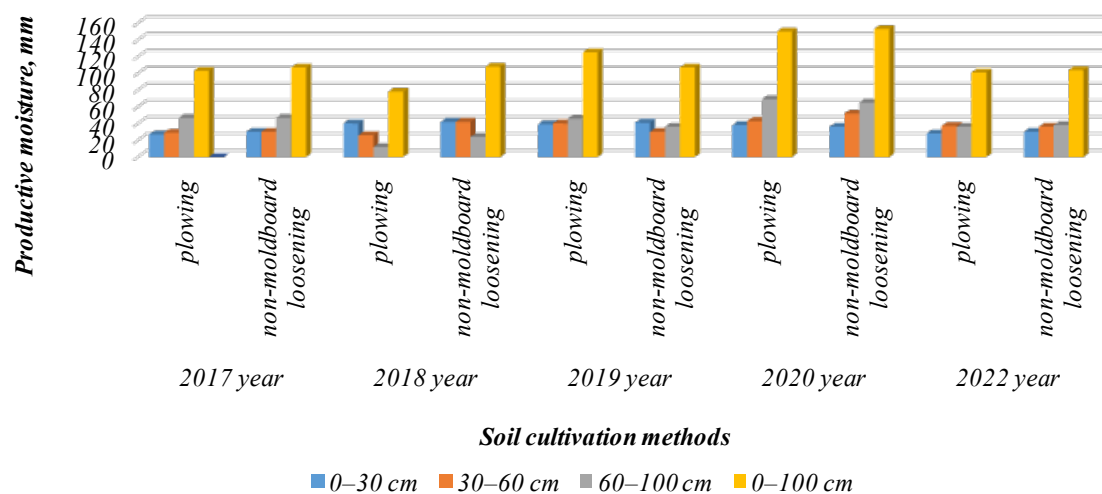


Fig. 1. The content of productive moisture in the phase of seedlings of spring wheat on different backgrounds of the main tillage

и максимальная температура воздуха, количество осадков в 2018 г. и 2020 г.). Двухмесячное количество осадков в конце вегетации 2019 г. не сыграло положительной роли в формировании урожая, спровоцировав засоренность посевов.

Таким образом, условия периода вегетации складывались благоприятно два года из пяти лет проведения исследований.

Результаты (Results)

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале вегетации яровой пшеницы на фоне безотвального рыхления варьировали от 104 до 153 мм, на вспашке они изменялись более резко от 78 до 150 мм (рис. 1).

Преимущество безотвальной обработки почвы по накоплению продуктивной влаги в метровом слое почвы отмечалось в большинстве лет проведения исследований. Только в 2019 г. на отвальном фоне ее содержалось на 18 мм больше. При этом в 2017–2019 гг. и 2022 г. на стерневом фоне в слое 0–30 см содержалось продуктивной влаги на 2–3 мм больше по сравнению с отвальным фоном,

лишь в 2020 г. несколько больше влаги (на 2 мм) сохранялось на вспашке.

К фазе колошения яровой пшеницы запасы влаги в почве на изучаемых фонах значительно сокращались вследствие потребления ее растениями и испарения. Безотвальное рыхление оказывало положительное влияние на сохранение влаги: в слое 0–30 см запасы находились в пределах 1,0–10,2 мм, на вспашке – варьировали от 1,0 до 8,7 мм (рис. 2).

В метровом слое почвы минимальные запасы влаги отмечались в 2017 г. (9,4–10,0 мм), а наибольшие – в 2022 г. (43,0–58,9 мм). При этом преимущество безотвальной обработки отмечалось в 2018 г. (+8,7 мм), а вспашки – в 2022 г. (+15,9 мм). В остальные годы проведения опытов различия между фонами составляли 1–3 мм.

В фазу полной спелости пшеницы в пахотном слое почвы (0–30 см) в отдельные годы (2017, 2022) продуктивной влаги не было в связи с отсутствием осадков во второй половине вегетации яровой пшеницы. В 2018–2020 гг. ее содержание составляло 0,1–4,7 мм на отвальном фоне и 2,6–6,3 мм на стерневом фоне (рис. 3).

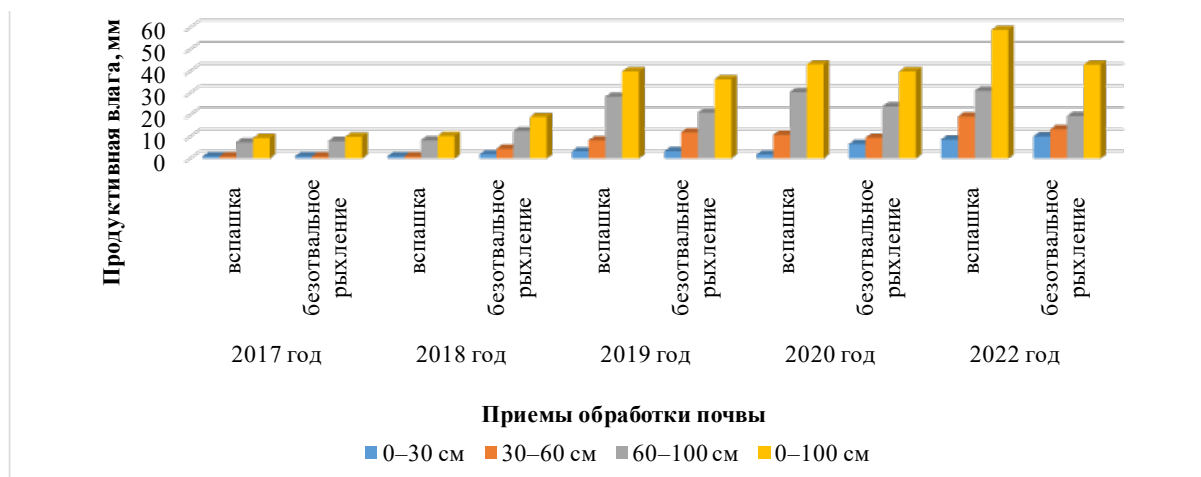


Рис. 2. Содержание продуктивной влаги в фазе колошения яровой пшеницы на разных фонах основной обработки почвы

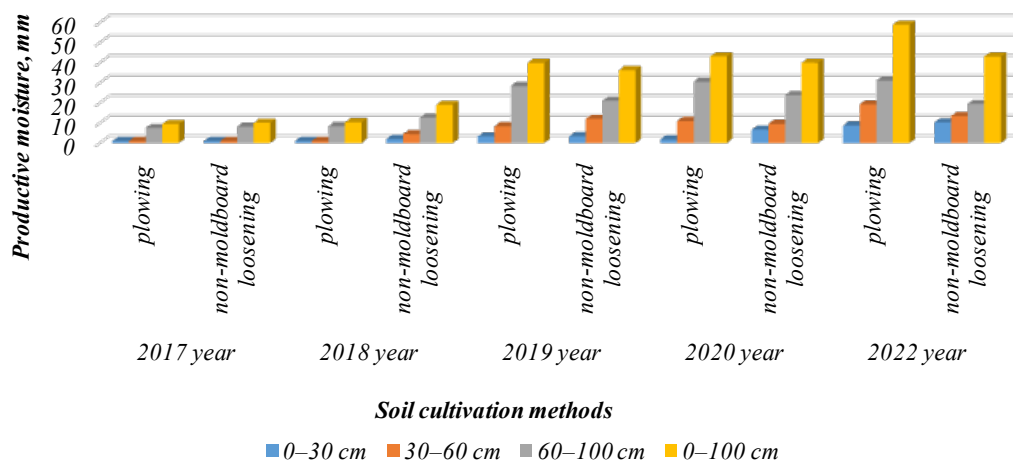


Fig. 2. The content of productive moisture in the earing phase of spring wheat on different backgrounds of the main tillage

В метровом слое почвы запасы продуктивной влаги в 2017 г. составляли 1 мм независимо от способов обработки почвы. Наиболее резкие отличия между приемами обработки почвы по содержанию почвенной влаги в слое почвы 0–100 см отмечались в 2020 г. – на фоне вспашки содержалось 15 мм, на фоне безотвального рыхления – 45 мм.

Содержание нитратного азота в фазе всходов яровой пшеницы в 2017 г, 2019–2020 гг. достигало высоких и очень высоких значений, низкие и средние показатели отмечались в 2018 г., очень низкие – в 2022 г. (1,4–3,1 мг/кг) (таблица 2).

В слое почвы 0–30 см в 2017 г. различий по содержанию нитратного азота между фонами обработки не отмечалось (27,3–27,6 мг/кг), в 2020 г. больше его накапливалось (на 1,6 мг/кг) на стерне-

вом фоне. В большинстве лет отвальная обработка почвы способствовала более высокому накоплению нитратных форм азота (на 0,4–4,5 мг/кг).

По мере роста и развития растений яровой пшеницы количество нитратного азота в фазу колошения снижалось до очень низких и низких значений в 2017–2018 и 2022 гг. В 2019–2020 гг. оно сокращалось менее интенсивно и достигало средних, а по отдельным горизонтам почвы и высоких значений. При созревании яровой пшеницы содержание нитратных форм азота в 2018–2019 гг. на фоне вспашки увеличилось до высоких значений, на фоне безотвального рыхления – до средних, что связано с завершением усвоения нитратного азота почвы из-за прекращения вегетации растений.

Таблица 2
Содержание нитратного азота (N-NO₃) в зависимости от приемов основной обработки почвы, мг на 1 кг почвы

Прием основной обработки почвы	Слой почвы, см	N-NO ₃ , мг/кг		
		Фаза развития		
		Всходы	Колошение	Полная спелость
2017 г.				
Вспашка	0–30	27,3	5,6	8,4
	30–60	28,7	9,7	9,2
	60–100	45,0	12,6	11,9
Безотвальное рыхление	0–30	27,6	3,9	3,8
	30–60	35,0	3,7	3,0
	60–100	37,5	6,6	2,6
2018 г.				
Вспашка	0–30	14,6	2,9	27,2
	30–60	12,9	2,8	16,9
	60–100	6,7	3,2	13,1
Безотвальное рыхление	0–30	10,1	3,3	14,8
	30–60	13,0	2,9	11,9
	60–100	11,9	3,3	8,54
2019 г.				
Вспашка	0–30	29,8	11,6	16,2
	30–60	29,6	23,6	15,3
	60–100	41,4	30,9	13,0
Безотвальное рыхление	0–30	26,2	11,8	14,0
	30–60	30,5	12,2	12,7
	60–100	21,3	15,9	14,8
2020 г.				
Вспашка	0–30	24,2	10,8	9,7
	30–60	24,2	10,5	11,4
	60–100	25,8	12,3	15,9
Безотвальное рыхление	0–30	25,8	17,6	15,9
	30–60	26,7	18,2	10,5
	60–100	27,3	14,3	11,8
2022 г.				
Вспашка	0–30	2,8	0,9	0,6
	30–60	1,7	0,9	0,4
	60–100	1,4	0,6	0,6
Безотвальное рыхление	0–30	2,4	0,7	0,6
	30–60	3,1	0,6	0,3
	60–100	2,1	0,6	0,4

Table 2

The content of nitrate nitrogen ($N-NO_3$) depending on the methods of the main tillage, mg per 1 kg of soil

Reception main tillage	Soil layer, cm	$N-NO_3$, mg/kg		
		Development phase		
		Seedlings	Heading	Full ripeness
2017				
Plowing	0–30	27.3	5.6	8.4
	30–60	28.7	9.7	9.2
	60–100	45.0	12.6	11.9
Non-moldboard loosening	0–30	27.6	3.9	3.8
	30–60	35.0	3.7	3.0
	60–100	37.5	6.6	2.6
2018				
Plowing	0–30	14.6	2.9	27.2
	30–60	12.9	2.8	16.9
	60–100	6.7	3.2	13.1
Non-moldboard loosening	0–30	10.1	3.3	14.8
	30–60	13.0	2.9	11.9
	60–100	11.9	3.3	8.54
2019				
Plowing	0–30	29.8	11.6	16.2
	30–60	29.6	23.6	15.3
	60–100	41.4	30.9	13.0
Non-moldboard loosening	0–30	26.2	11.8	14.0
	30–60	30.5	12.2	12.7
	60–100	21.3	15.9	14.8
2020				
Plowing	0–30	24.2	10.8	9.7
	30–60	24.2	10.5	11.4
	60–100	25.8	12.3	15.9
Non-moldboard loosening	0–30	25.8	17.6	15.9
	30–60	26.7	18.2	10.5
	60–100	27.3	14.3	11.8
2022				
Plowing	0–30	2.8	0.9	0.6
	30–60	1.7	0.9	0.4
	60–100	1.4	0.6	0.6
Non-moldboard loosening	0–30	2.4	0.7	0.6
	30–60	3.1	0.6	0.3
	60–100	2.1	0.6	0.4

В связи с очень низкой обеспеченностью почвы нитратным азотом в 2022 г из-за особенностей погодных условий мая (низкой среднесуточной температурой воздуха, большим количеством осадков) определялось содержание в почве аммонийных форм азота.

Содержание аммонийного азота в 2022 г. в фазу всходов составляло в зависимости от приемов основной обработки почвы от 20 до 23 мг на 1 кг в слое почвы 0–30 см, в более глубоких горизонтах оно увеличивалось до 30–32 мг на 1 кг, что соответствовало средним значениям (таблица 3).

В фазу колошения обеспеченность почвы аммонийным азотом возрастала: на фоне вспашки – до 46–51 мг на 1 кг, на стерневом фоне – до 42–50 мг на 1 кг. По мере созревания зерна количество аммо-

нийного азота в почве сокращалось и в фазу полной спелости составляло 30–34 мг на 1 кг.

На урожайность яровой пшеницы оказывали влияние как погодные условия в годы проведения исследований, так и приемы основной обработки почвы. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая складывались в 2017 и 2022 гг. (таблица 4).

В среднем за годы исследований преимущество безотвального рыхления почвы над вспашкой по урожайности составило 0,6 ц с 1 га. При этом по сорту Учитель разница не обнаружена, по другим сортам она варьировала от 0,4 ц/га по сорту Тулайковская золотистая до 0,7–0,8 ц/га по сортам Ульяновская 105, Оренбургская 10 и Безенчукская 210 в пользу безотвальной обработки почвы.

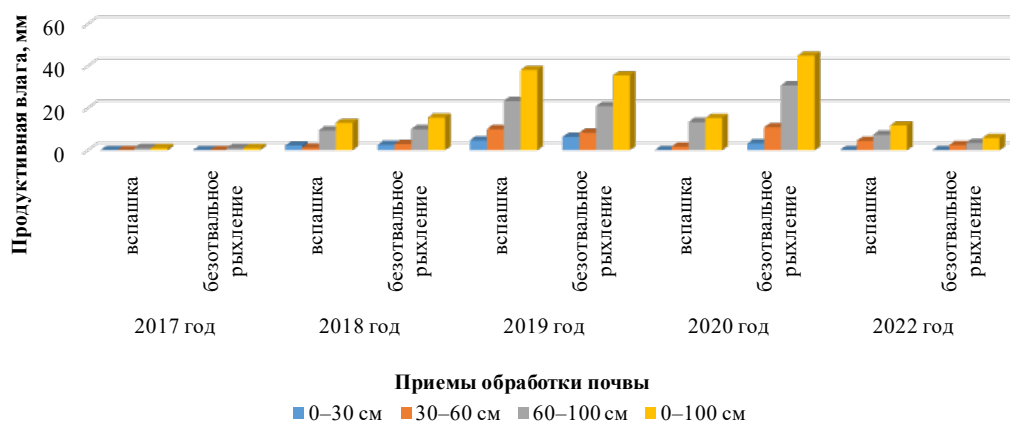


Рис. 3. Содержание продуктивной влаги в фазе полной спелости яровой пшеницы на разных фонах основной обработки почвы

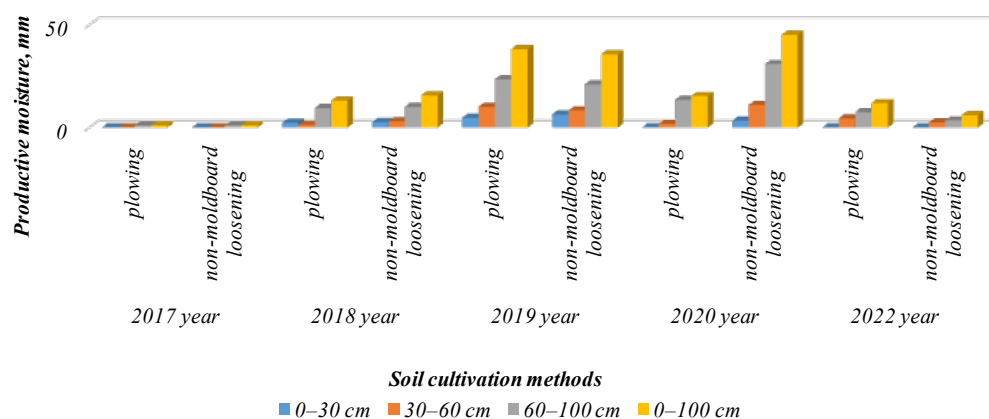


Fig. 3. The content of productive moisture in the phase of full ripeness of spring wheat on different backgrounds of the main tillage

Таблица 3
Содержание аммонийного азота, мг на 1 кг почвы, 2022 г.

Прием основной обработки почвы	Фаза вегетации	Слой почвы, см		
		0-30	30-60	60-100
Вспашка	Всходы	23	31	32
	Колошение	46	51	48
	Полная спелость	34	32	31
Безотвальное рыхление	Всходы	20	31	30
	Колошение	42	50	48
	Полная спелость	34	30	30

Table 3
The content of ammonium nitrogen, mg per 1 kg of soil, 2022

Reception main tillage	Vegetation phase	Soil layer, cm		
		0-30	30-60	60-100
Plowing	Seedlings	23	31	32
	Heading	46	51	48
	Full ripeness	34	32	31
Non-moldboard loosening	Seedlings	20	31	30
	Heading	42	50	48
	Full ripeness	34	30	30

Урожайность сортов яровой пшеницы в зависимости от приемов основной обработки почвы

Сорт	Годы					Средняя
	2017	2018	2019	2020	2022	
Основная обработка почвы – вспашка						
Учитель (контроль)	18,3	4,7	2,2	3,9	11,8	8,2
Тулайковская золотистая	19,2	3,8	4,1	6,8	17,9	10,4
Ульяновская 105	19,6	2,1	4,0	6,8	21,3	10,8
Оренбургская 10	18,1	2,4	0,8	4,2	7,6	6,6
Безенчукская 210	21,6	2,1	2,2	7,6	17,1	10,1
Средняя	19,4	3,0	2,7	5,9	15,1	9,2
Основная обработка почвы – безотвальное рыхление						
Учитель	18,1	6,2	2,2	2,5	12,0	8,2
Тулайковская золотистая	20,3	6,3	4,3	3,9	19,4	10,8
Ульяновская 105	21,6	2,9	5,3	4,8	23,3	11,6
Оренбургская 10	20,6	3,4	0,7	2,9	8,9	7,3
Безенчукская 210	22,7	3,7	3,9	5,0	19,0	10,9
Средняя	20,7	4,5	3,3	3,8	16,5	9,8
НСР ₀₅ общая	2,2					
НСР ₀₅ приём основной обработки почвы	1,4					
НСР ₀₅ сорт	2,2					
НСР ₀₅ взаимодействие факторов	2,2					

Table 4
Productivity of spring wheat varieties depending on the methods of the main tillage

Variety	Years					Average
	2017	2018	2019	2020	2022	
Basic tillage – plowing						
Uchitel' (control)	18.3	4.7	2.2	3.9	11.8	8.2
Tulaykovskaya zolotistaya	19.2	3.8	4.1	6.8	17.9	10.4
Ul'yanovskaya 105	19.6	2.1	4.0	6.8	21.3	10.8
Orenburgskaya 10	18.1	2.4	0.8	4.2	7.6	6.6
Bezenchukskaya 210	21.6	2.1	2.2	7.6	17.1	10.1
Average	19.4	3.0	2.7	5.9	15.1	9.2
Basic tillage – non-moldboard loosening						
Uchitel'	18.1	6.2	2.2	2.5	12.0	8.2
Tulaykovskaya zolotistaya	20.3	6.3	4.3	3.9	19.4	10.8
Ul'yanovskaya 105	21.6	2.9	5.3	4.8	23.3	11.6
Orenburgskaya 10	20.6	3.4	0.7	2.9	8.9	7.3
Bezenchukskaya 210	22.7	3.7	3.9	5.0	19.0	10.9
Average	20.7	4.5	3.3	3.8	16.5	9.8
LSD ₀₅ general	2.2					
LSD ₀₅ basic tillage method	1.4					
LSD ₀₅ grade	2.2					
LSD ₀₅ interaction of factors	2.2					

В разрезе лет преимущество посева по вспашке получено в один год (2020), причем наиболее значимые прибавки (1,9–2,6 ц с 1 га) отмечались по сортам Тулайковская золотистая, Ульяновская 105 и Безенчукская 210. У сортов Учитель и Оренбургская 10 прибавка составляла соответственно 1,4 и 1,3 ц/га, что ниже НСР₀₅. В остальные годы проявлялось преимущество посева по стерновому фону.

Отмечалась сортовая реакция на изученные приемы основной обработки почвы. Сорт Учитель слабо реагировал на изменение способов обработки почвы. Даже в благоприятные годы (2017, 2022), когда другие сорта увеличивали урожайность по безотвально обработанной зяби, по данному сорту прибавка не получена. Слабая реакция на варианты осенней обработки почвы и у сорта твердой пше-

ницы Оренбургская 10. Урожайность данного сорта по фону безотвального рыхления только в 2017 г. была достоверно выше (на 2,5 ц/га) урожайности по вспашке.

Сорта Тулайковская золотистая, Ульяновская 105 и Безенчукская 210 четыре года из пяти лет проведения исследований были продуктивнее на фоне безотвальной обработки почвы. Прибавки относительно отвальной обработки у сорта Тулайковская золотистая изменялись от 0,2 до 2,5 ц/га, у сорта Ульяновская 105 – от 0,8 до 2,0 ц/га, а у сорта Безенчукская 210 – от 1,1 до 1,9 ц/га.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Безотвальная обработка почвы благодаря сохранению стерни на поверхности обеспечивает лучшее усвоение осадков осенне-зимнего периода. В результате запасы продуктивной влаги в почве формируются более стабильно по сравнению со вспашкой как в верхнем горизонте (0–30 см), так и в метровом слое.

Обеспеченность почвы нитратным азотом в зависимости от погодных условий в фазе всходов яровой пшеницы варьировала от очень низкой до высокой и очень высокой. К фазе колошения содержание нитратного азота снижалось до низких и средних значений, в фазу полной спелости его количество несколько возрастало. Отвальная обработка почвы способствовала более интенсивному накоплению нитратных форм азота.

Установлена реакция сортов яровой пшеницы на приемы основной обработки почвы. Слабо реагировали на варианты обработки почвы сорта Учитель и Оренбургская 10. У сортов Тулайковская золотистая, Ульяновская 105 и Безенчукская 210 урожайность была выше на фоне безотвального рыхления почвы четыре года из пяти лет проведения исследований.

Библиографический список

1. Пакуль А. Л., Лапшинов Н. А., Пакуль В. Н., Божанова Г. В. Засоренность посевов яровой мягкой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 3. С. 16–27. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-3-2.
2. Лагунов Р. В. Влияние основной обработки почвы на засорённость и урожайность яровой пшеницы в северной лесостепи Тюменской области // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сборник материалов LV Студенческой научно-практической конференции. Тюмень, 2021. С. 556–560.
3. Миллер С. С., Антропов В. А. Возделывания яровой пшеницы по основной обработке почвы в Западной Сибири // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (67). С. 47–50.
4. Janauskaite D., Kadziene G. Influence of Different Intensities of Tillage on Physiological Characteristics and Productivity of Crop-Rotation Plants // Plants. 2022. Vol. 11 (22). Article number 3107. DOI: 10.3390/plants11223107.
5. Кузина Е. В., Немцев С. Н. Итоги изучения различных систем обработки почвы в зернопаровом севообороте на черноземах Среднего Поволжья // Сельскохозяйственный журнал. 2019. Т. 12. № 5. С. 65–71. DOI: 10.25930/0372-3054/010.5.12.2019.
6. Новохижний Н. В., Коваленко А. М., Коваленко А. А. Влияние обработки почвы на ее агрофизические свойства и продуктивность ранних яровых культур в южной степи Украины // Актуальные вопросы совершенствования систем земледелия в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Махачкала, 2020. С. 110–114.
7. Шахова О. А. Изменение агрофизических свойств серой лесной почвы при различных видах зяблевой обработки в условиях северной лесостепи Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (66). С. 33–37.
8. Ленточкин А., Ширококов П., Атнабаева Н. А. Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы в ландшафтном земледелии Среднего Предуралья // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография. В 5 томах. Т. 4. Москва, 2018. С. 115–120.
9. Jakab G., Madarász B., Masoudi M., Karlik M., Király C., Zacháry D., Filep T., Dekemati I., Centeri C., Al-Graiti T., Szalai Z. Soil organic matter gain by reduced tillage intensity: Storage, pools, and chemical composition // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 226. Article number 105584. DOI: 10.1016/j.still.2022.105584.
10. Семенихина Ю. А., Камбулов С. И. Влияние способов основной обработки почвы на влаготемпературный режим почвы и урожайность озимой пшеницы // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 3. С. 182–193. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-182-193.
11. Аверьянова И. П., Морковкин Г. Г. Влияние различных приемов основной обработки почвы на питательный режим почвы и урожайность зерна яровой пшеницы // Перспективы внедрения инновационных агротехнологий при возделывании сельскохозяйственных культур: Российская научно-практическая конференция, посвященная 75-летию юбилею агрономического факультета Алтайского ГАУ. Барнаул, 2018. С. 5–9.

12. Кутилкин В. Г., Зудилин С. Н. Эффективность минимализации основной обработки почвы и удобрений под ячмень // Теория и практика современной аграрной науки: материалы III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2020. Т. 1. С. 151–155.
13. Левкина А. Ю., Кудашова А. О. Влияние дефицита влаги и способов основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы в Саратовском Заволжье // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2019. С. 535–539.
14. Марковская Г. К., Чугунова О. А. Влияние способа основной обработки на микробиоту почвы и урожайность ячменя в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной. 2019. Т. 4. № 2. С. 3–8. DOI: 10.12737/article_5cdbc442e01672.39268090.
15. Saurabh K., Rao K. K., Mishra J. S., Kumar R., Poonia S. P., Samal S. K., Roy H. S., Dubey A. K., Choubey A. K., Mondal S., Bhatt B. P., Verma M., Malik R. K. Influence of tillage based crop establishment and residue management practices on soil quality indices and yield sustainability in rice-wheat cropping system of Eastern Indo-Gangetic Plains // Soil & Tillage Research. 2021. Vol. 206. Article number 104841. DOI: 10.1016/j.still.2020.104841.
16. Ding J., Li F., Le T. et al. Tillage and seeding strategies for wheat optimizing production in harvested rice fields with high soil moisture // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Article number 119. DOI: 10.1038/S41598-020-80256-7.
17. Pardo G. et al. Effects of reduced and conventional tillage on weed communities: results of a long-term experimental in Southwestern Spain // Planta Daninha. 2019. Vol. 37. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100152.
18. Gandía M. L., Del Monte J. P., Tenorio J. L., Santín-Montanyá M. I. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. No. 1. Article number 22138. DOI: 10.1038/s41598-021-00934-y.
19. Sun W., Canadell J. G., Yu L., Yu L., Zhang W., Smith P., Fischer T., Huang Y. Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture // Global Change Biology. 2020. Vol. 26. No. 6. Pp. 3325–3335. DOI: 10.1111/gcb.15001.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс, 2014. 351 с.

Об авторах:

Александр Леонидович Панфилов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0002-1210-6350, AuthorID 404176. E-mail: panfilov-1@mail.ru

Ринат Римович Абдрашитов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-0946-068X, AuthorID 873375. E-mail: orniish_tzk@mail.ru

References

1. Pakul A. L., Lapshinov N. A., Pakul V. N., Bozhanova G. V. Weed infestation of soft spring wheat crops depending on the soil tillage system. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2020; 50 (3): 16–27. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-3-2. (In Russ.)
2. Lagunov R. V. Influence of basic tillage on weed infestation and productivity of spring wheat in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Topical issues of science and economy: new challenges and solutions: collection of materials of the LV Student Scientific and Practical Conference*. Tyumen, 2021. Pp. 556–560. (In Russ.)
3. Miller S. S., Antropov V. A. Cultivation of spring wheat for the main tillage in Western Siberia. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2021; 4 (67): 47–50. (In Russ.)
4. Janusauskaite D., Kadziene G. Influence of Different Intensities of Tillage on Physiological Characteristics and Productivity of Crop-Rotation Plants. *Plants*. 2022; 11 (22): 3107. DOI: 10.3390/plants11223107.
5. Kuzina E. V., Nemtsev S. N. Results of the study of various tillage systems in the grain-fallow crop rotation on the chernozems of the Middle Volga. *Agricultural Journal*. 2019; 12 (5): 65–71. DOI: 10.25930/0372-3054/010.5.12.2019. (In Russ.)
6. Novohizhny N. V., Kovalenko A. M., Kovalenko A. A. Influence of tillage on its agrophysical properties and productivity of early spring crops in the southern steppe of Ukraine. *Topical issues of improving farming systems in modern conditions: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*. Makhachkala, 2020. Pp. 110–114. (In Russ.)

7. Shakhova O. A. Changes in the agrophysical properties of gray forest soil with different types of autumn tillage in the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2021; 3 (66): 33–37. (In Russ.)
8. Lentochkin A., Shirobokov P., Atnabaeva N. A. Zero, minimum or moldboard tillage in landscape farming in the Middle Cis-Urals. *In the collection: New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia. Monograph*. In 5 volumes. Vol. 4. Moscow, 2018. Pp. 115–120. (In Russ.)
9. Jakab G., Madarász B., Masoudi M., Karlik M., Király C., Zacháry D., Filep T., Dekemati I., Centeri C., Al-Graiti T., Szalai Z. Soil organic matter gain by reduced tillage intensity: Storage, pools, and chemical composition. *Soil and Tillage Research*. 2022; 226: 105584. DOI: 10.1016/j.still.2022.105584.
10. Semenikhina Yu. A., Kambulov S. I. Influence of methods of basic tillage on the moisture-temperature regime of the soil and the yield of winter wheat. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021; 11 (3): 182–193. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-182-193. (In Russ.)
11. Averyanova I. P., Morkovkin G. G. The influence of various methods of basic tillage on the nutrient regime of the soil and the yield of spring wheat. *Prospects for the introduction of innovative agricultural technologies in the cultivation of agricultural crops: Russian scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Agronomic Faculty of the Altai State Agrarian University*. Barnaul: RIO Altai State Agrarian University, 2018. Pp. 5–9. (In Russ.)
12. Kutilkin V. G., Zudilin S. N. The effectiveness of minimizing the main tillage and fertilizers for barley. *Theory and practice of modern agrarian science: materials of the III national (All-Russian) scientific conference with international participation*. Novosibirsk, 2020. Vol. 1. Pp. 151–155. (In Russ.)
13. Lyovkina A. Yu., Kudashova A. O. Influence of moisture deficit and methods of basic tillage on the productivity of winter wheat in the Saratov Trans-Volga region. *Innovations in nature management and environmental protection: materials of the I National scientific and practical conference with international participation*. Saratov, 2019. Pp. 535–539. (In Russ.)
14. Markovskaya G. K., Chugunova O. A. Influence of the main tillage method on soil microbiota and barley yield in the conditions of the Middle Volga region. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2019; 4 (2): 3–8. DOI: 10.12737/article_5cdbc442e01672.39268090. (In Russ.)
15. Saurabh K., Rao K. K., Mishra J. S., Kumar R., Poonia S. P., Samal S. K., Roy H. S., Dubey A. K., Choubey A. K., Mondal S., Bhatt B. P., Verma M., Malik R. K. Influence of tillage based crop establishment and residue management practices on soil quality indices and yield sustainability in rice-wheat cropping system of Eastern Indo-Gangetic Plains. *Soil & Tillage Research*. 2021; 206: 104841. DOI: 10.1016/j.still.2020.104841.
16. Ding J., Li F., Le T. et al. Tillage and seeding strategies for wheat optimizing production in harvested rice fields with high soil moisture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 119. DOI: 10.1038/S41598-020-80256-7.
17. Pardo G. et al. Effects of reduced and conventional tillage on weed communities: results of a long-term experimental in Southwestern Spain. *Planta Daninha*. 2019; 37. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100152.
18. Gandía M. L., Del Monte J. P., Tenorio J. L., Santín-Montanyá M. I. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems. *Scientific Reports*. 2021; 11 (1): 22138. DOI: 10.1038/s41598-021-00934-y.
19. Sun W., Canadell J. G., Yu L., Yu L., Zhang W., Smith P., Fischer T., Huang Y. Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology*. 2020; 26 (6): 3325–3335. DOI: 10.1111/gcb.15001.
20. Dospikhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 5th edition. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (In Russ.)

Authors' information:

Aleksandr L. Panfilov, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0002-1210-6350, AuthorID 404176. *E-mail: panfilov-1@mail.ru*

Rinat R. Abdrashitov, candidate of agricultural sciences, researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-0946-068X, AuthorID 873375. *E-mail: orniish_tzk@mail.ru*

Влияние азотных удобрений и запасов подвижного фосфора почвы на продуктивность сои в условиях лесостепи Южного Зауралья

Х. С. Юмашев[✉], И. А. Захарова, В. Я. Крамаренко

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия

[✉]E-mail: chniisx2@mail.ru

Аннотация. Цель – изучить влияние азотных удобрений на урожайность и показатели качества зерна сои в условиях лесостепи Южного Зауралья. **Методы.** Объект исследования – районированный по Уральскому региону раннеспелый сорт сои Черемшанка Омского АНЦ. Исследования проводились в стационарном опыте, включенном в реестр длительных опытов Геосети РФ. Соя возделывалась в зернопаротравяном севообороте, предшественник – озимая рожь. Азотные удобрения вносятся в почву в разброс под предпосевную культивацию. Схема опыта факториальная – 0, N₁, N₂, N₃, P₁, P₂, P₃, все сочетания (4 × 4). Дозы удобрений в севообороте под сою и горох – N₂₀₋₆₀. Эффективность азотных удобрений изучалось на фоне последействия фосфорных удобрений. Пространственная реализация схемы осуществлялась в двух блоках. Повторность полей четырехкратная. Общая площадь элементарной делянки – 240 м², учетная площадь – 114 м². В исследованиях использовались следующие методики: гумус общий по Тюрину; сумма поглощенных оснований по Каппену – Гельковицу; рН потенциометрически; подвижный фосфор и обменный калий по Чирикову; белок в зерне гороха и сои по Кельдалю; жир методом Сокслета. **Результаты.** Исследованиями установлено, что по продуктивности соя в севообороте не уступает гороху, а за счет выхода масла севооборот с соей даже превосходит аналогичный севооборот с горохом. Содержание белка в семенах сои с увеличением дозы азотного удобрения возрастает, в то время как содержание жира падает. **Научная новизна.** Выявлены отзывчивость сои на дозы азотных удобрений на фоне разной обеспеченности почвы подвижным фосфором в условиях лесостепи Южного Зауралья.

Ключевые слова: соя, горох, севооборот, доза, азотное удобрение, последействие фосфора, урожайность, белок, жир

Для цитирования: Юмашев Х. С., Захарова И. А., Крамаренко В. Я. Влияние азотных удобрений и запасов подвижного фосфора почвы на продуктивность сои в условиях лесостепи Южного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 185–196. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-185-196>.

Дата поступления статьи: 09.06.2023, **дата рецензирования:** 06.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Influence of nitrogen fertilizers and reserves of soil mobile phosphorus on soybean productivity in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals

K. S. Yumashev[✉], I. A. Zakharova, V. Ya. Kramarenko

Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia

[✉]E-mail: chniisx2@mail.ru

Abstract. The purpose is to study the effect of nitrogen fertilizers on the yield and quality of soybean grain in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals. **Methods.** The object of the study is the early-ripening soybean variety Cheremshanka of the Omsk Agrarian Scientific Centre zoned in the Ural region. The studies were carried out in a stationary experiment included in the register of long-term experiments of the Geonetwork of the Russian Federation. Soybean was cultivated in a grain-grass crop rotation, the predecessor was winter rye.

Nitrogen fertilizers are spread into the soil for pre-sowing cultivation. Factorial scheme of experience – 0, N₁, N₂, N₃, P₁, P₂, P₃, all combinations (4 × 4). Doses of fertilizers in the crop rotation for soybeans and peas – N_{20–60}. The effectiveness of nitrogen fertilizers was studied against the background of the aftereffect of phosphorus fertilizers. The spatial implementation of the scheme was carried out in two blocks. The repetition of the fields is fourfold. The total area of an elementary plot is 240 m², the accounting area is 114 m². The following methods were used in the studies: common humus according to Tyurin; the sum of absorbed bases according to Kappen – Gelkovitz; pH potentiometrically; mobile phosphorus and exchangeable potassium according to Chirikov; protein in grains of peas and soybeans according to Kjeldahl; fat by the Soxhlet method. **Results.** Studies have established that soybeans in crop rotation are not inferior to peas in terms of productivity, and due to the oil yield, the soybean rotation even surpasses the similar crop rotation with peas. The protein content in soybean seeds increases with an increase in the dose of nitrogen fertilizer, while the fat content decreases. **Scientific novelty.** The responsiveness of soybeans to the doses of nitrogen fertilizers against the background of different availability of mobile phosphorus in the soil in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals was revealed.

Keywords: soybeans, peas, crop rotation, dose, nitrogen fertilizer, phosphorus aftereffect, yield, protein, fat

For citation: Yumashev K. S., Zakharova I. A., Kramarenko V. Ya. Influence of nitrogen fertilizers and reserves of soil mobile phosphorus on soybean productivity in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024; 24 (2): 185–196. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-185-196>. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.06.2023, **date of review:** 06.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Соя – важнейшая белково-масличная культура мирового значения. Ее семена содержат в среднем 37–42 % белка, 19–22 % масла и до 30 % углеводов. По аминокислотному составу протеин сои близок к белку куриных яиц, а масло относится к легкоусвояемым и содержит жирные кислоты, не вырабатываемые организмом животных и человека [1, с. 24; 2, с. 45].

По занимаемым площадям соя является самой распространенной зернобобовой и масличной культурой нашей планеты, которую возделывают более 60 стран на пяти континентах в умеренном, субтропическом и тропическом поясах. Соя оказалась экологически пластичной культурой и благодаря проделанной во многих странах селекционной работе широко шагнула далеко за пределы первоначального распространения [2, с. 37].

Россия также не осталась в стороне от этого процесса. В последние годы во многих селекционных центрах ведутся работы по селекции данной культуры, введены сорта, которые способны даже в условиях континентального климата формировать урожай полноценного зерна [3, с. 50; 4, с. 33].

Исследования по экологическому испытанию новых сортов сои велись в регионе Южного Зауралья научными учреждениями Челябинской области. В частности, в Челябинском НИИСХ в течение ряда лет проводились научно-исследовательские работы по экологическому испытанию различных по скороспелости сортов сои. Было выявлено, что в условиях Южного Зауралья при выращивании сои на семенные цели предпочтение необходимо отдавать скороспелым и раннеспелым сортам,

способным формировать урожай зерна на уровне 12–22 ц/га [5, с. 16].

Соя – довольно требовательная культура, для нормального развития ей необходимы оструктуренные, хорошо дренированные, богатые гумусом черноземные почвы со слабокислой реакцией почвенного раствора. Для завершения полного цикла вегетации скороспелым и раннеспелым сортам достаточно суммы активных (> 10 °С) температур 1600–2200 °С. Потребность в элементах питания у сои довольно высокая, особенно потребность в азоте. Для формирования 1 тонны семян соя использует 75–100 кг азота, 20–30 кг фосфора и 30–50 кг калия [1, с. 62]. Поэтому размещать сою на по чистых от сорной растительности полях. Хорошим предшественником для сои являются озимые культуры, идущие по чистым парам.

Методология и методы исследований (Methods)

Исследования проводились в многолетнем стационарном опыте, включенном в реестр длительных опытов Географической сети опытов с удобрениями. Изучение эффективности азотных удобрений проводилось в севообороте при традиционной, как наиболее эффективной в условиях лесостепных агроландшафтов, отвальной технологии, на разных фонах обеспеченности почвы подвижным фосфором, которые были достигнуты в результате длительного применения фосфорных удобрений в стационаре. За 25 лет прямого действия удобрений в севообороте в почву поступило 700 (P₁), 1400 (P₂) и 2100 (P₃) кг P₂O₅ на 1 га севооборотной площади. За счет этого содержание P₂O₅ возросло с 35–38 мг/кг на неудобренных фонах в начале опыта до 244–371 мг/кг на фоне P₃.

Таблица 1
Агрометеорологические условия за вегетационный период в лесостепи Южного Зауралья
(по данным Тимирязевской агрометеостанции (в 5 км от места исследований))

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С, по годам				Сумма осадков, мм, по годам			
	Средненого-летия	2020	2021	2022	Средненого-летия	2020	2021	2022
Май	11,6	14,6	18,6	11,0	38	15	24	70
Июнь	16,6	16,7	19,7	16,0	60	27	31	94
Июль	17,9	23,1	20,0	20,3	76	70	96	30
Август	15,5	17,9	20,4	19,8	57	121	5	15
Сентябрь	9,8	10,5	8,7	11,1	40	85	33	28
Средняя температура воздуха и сумма осадков за май – сентябрь	13,8	16,2	17,5	15,6	271	318	189	197
Сумма активных температур за вегетацию сои (25.05–30.09)	1897	2171	2216	2122	–	–	–	–
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,3	1,2	0,8	1,0	–	–	–	–

Table 1
Agrometeorological conditions during the growing season in the forest-steppe of the Southern Trans-Urals (according to the Timiryazevskaya agrometeorological station (5 km from the research site))

Month	Average daily air temperature, °C, by years				The amount of precipitation, mm, on years			
	Long-term average	2020	2021	2023	Long-term average	2020	2021	2022
May	11.6	14.6	18.6	11.0	38	15	24	70
June	16.6	16.7	19.7	16.0	60	27	31	94
July	17.9	23.1	20.0	20.3	76	70	96	30
August	15.5	17.9	20.4	19.8	57	121	5	15
September	9.8	10.5	8.7	11.1	40	85	33	28
Average air temperature and amount of precipitation for May – September	13.8	16.2	17.5	15.6	271	318	189	197
The sum of active temperatures for the growing season of soybeans (25.05-30.09)	1897	2171	2216	2122	–	–	–	–
Hydrothermal Coefficient (HTC)	1.3	1.2	0.8	1.0	–	–	–	–

Почва под опытом – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный, характеризующийся на период закладки нейтральной реакцией почвенного раствора ($pH = 6,0 \dots 6,3$), средним содержанием гумуса (6,9 % по Тюрину), сравнительно высокой степенью насыщенности почвы основаниями ($S = 34$ мг-экв. / 100 г), средним содержанием подвижного фосфора по Чирикову ($P_2O_5 = 65 \dots 67$ мг/кг) и относительно высоким содержанием обменного калия.

В длительном стационарном опыте изучалось влияние систематического применения минеральных удобрений на урожай культур в зернопаротравяном севообороте с чередованием культур чистый пар – озимая рожь – горох (соя) – яровая пшеница – однолетние травы – ячмень. В данном севообороте учеными Челябинского НИИСХ определено место для размещения бобовой культуры после озимой ржи, которая признана самым оптимальным для условий лесостепи Южного Зауралья.

Минеральные удобрения вносятся в почву взброс под предпосевную культивацию.

Схема опыта факториальная – $0, N_1, N_2, N_3, P_1, P_2, P_3$ – и все их сочетания (4×4). Дозы удобрений в севообороте под озимую рожь – N_{30-90}, P_{30-90} , соя и горох – N_{20-60}, P_{20-60} , пшеницу – N_{30-90}, P_{30-90} , однолетние травы – N_{30-90}, P_{30-90} , ячмень – N_{40-120}, P_{40-120} . Пространственная реализация схемы осуществлялась в двух блоках, расчленяющих схему на определенное количество вариантов, с равной суммой эффектов в каждом блоке (N_{14}, P_{14}, K_1).

Повторность полей четырехкратная. Площадь элементарной делянки общая – 240 м², учетная – 114 м².

В исследованиях использовались следующие методики: гумус общий по Тюрину; сумма поглощенных оснований по Каппену – Гельковицу; pH потенциометрически; подвижный фосфор и обменных калий по Чирикову; белок в зерне гороха и сои по Кьельдалю; жир методом Сокслета.

Результаты (Results)

Многочисленными исследованиями, проведенными в различных регионах РФ, установлено, что одним из главных условий получения урожая зерна сои являются метеорологические условия ее выращивания. Так, в исследованиях А. П. Галиченко и Е. М. Фокиной [4, с. 46], проведенных во Всероссийском НИИ сои, выявлено, что в условиях достаточного увлажнения основное влияние на продуктивность сои оказывает сумма активных температур, в то время как в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области исследованиями Е. В. Гуревой [5, с. 28] установлено, что на комплекс хозяйственно ценных признаков сои существенное влияние оказывают как сумма активных температур, так и количество осадков.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований складывались по-разному. Наиболее теплообеспеченным были 2020 и 2021 годы. Среднегодовое значение суммы активных температур ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) за период вегетации сои составила $1897\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднесуточная температура воздуха была выше среднегодовой величины на $1,8\text{--}3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сумма активных температур $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в среднем за годы исследований составила 2170.

В 2020 году среднесуточная температура воздуха во все месяцы вегетационного периода была выше среднегодовой величины на $0,1\text{--}5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В 2021 году необычно высокая и стабильная температура воздуха установилась с мая по август на уровне $18,6\text{--}20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, и только в сентябре она снизилась до $8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Особенностью 2022 года явилось то, что в мае и июне было прохладно и температура опустилась ниже нормы.

По влагообеспеченности обилием выпавших осадков отличался 2020 год, когда за июнь – август выпало 191 мм, а с мая по сентябрь – 318 мм, что на 47 мм больше нормы. В 2021–2022 гг. за вегетационный период осадков выпало соответственно на 82 и 74 мм меньше среднегодового показателя (таблица 1).

Таким образом, естественные гидротермические ресурсы лесостепи Южного Зауралья, составляющие за теплый период с мая по сентябрь сумму активных ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур $1800\text{--}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и осадков $190\text{--}300\text{ мм}$, позволяют формировать стабильную семенную продуктивность раннеспелых сортов сои на уровне $12\text{--}15\text{ ц/га}$.

Соя, как отмечалось выше, культура требовательная к реакции почвенного раствора, для нормального развития ей необходима почва с нейтральной или близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора. Многочисленными исследованиями, проведенными в различных регионах РФ, выявлено, что для нормального роста и развития сои реакцию почвенного раствора необходимо путем известкования довести до нейтральной или близкой к нейтральной [8, с. 45; 10, с. 39].

В условиях северного лесостепного агроландшафта Южного Зауралья определяющим фактором для получения урожая зерновых культур является обеспеченность почвы доступной влагой. При наличии влаги возрастает эффективность внесенных минеральных удобрений, при этом немаловажную роль играет обеспеченность почвы элементами питания, в первую очередь обеспеченность почвы подвижным фосфором [11, с. 240; 12, с. 48].

Исследования, проведенные в других регионах России, также показывают высокую эффективность применения минеральных удобрений, при этом прибавка зерна сои возрастает до 50 % [13, с. 75; 14, с. 71; 15, с. 68; 17, с. 20; 18, с. 10; 19, с. 12].

Урожайность семян сои на контрольном варианте составила $0,77\text{ т/га}$. На фоне последствия ранее внесенного фосфорного удобрения урожайность семян сои с увеличением содержания в почве подвижного фосфора возрастала, достигнув $0,96\text{ т/га}$ при содержании в почве фосфора на уровне 120 мг/кг почвы, при этом прибавка урожая составила $0,19\text{ т/га}$.

Внесение азотного удобрения на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором позволяло повысить урожайность семян сои на $0,21\text{--}0,43\text{ т/га}$ в зависимости от дозы азотного удобрения, причем с повышением дозы азотного удобрения прибавка изменялась незначительно.

Наибольшая урожайность семян сои ($1,26\text{ т/га}$) получена на фоне средней обеспеченности почвы фосфором и внесении 60 кг/га д. в. азотного удобрения. Максимальная окупаемость единицы азотного удобрения составила соответственно $15,0$ и $18,5\text{ кг}$ семян на единицу азотного удобрения при внесении минимальной дозы 20 кг/га д. в.

На фоне повышенной обеспеченности почвы подвижным фосфором прибавки урожая семян были ниже, соответственно, и окупаемость единицы азотного удобрения была в $1,5\text{--}2,0$ раза ниже, чем на фоне средней обеспеченности (таблица 2).

Расчеты корреляционной зависимости урожайности сои описываются уравнением регрессии $Y = a + b_1X + b_2Z$. Коэффициент регрессии для содержания подвижного фосфора и азотного удобрения составляет $0,41$ и $0,38$ соответственно, что характеризует эту зависимость как среднюю. При таких коэффициентах регрессии только треть урожая сои обусловлена содержанием в почве подвижного фосфора и внесением азотного удобрения.

Однако теория корреляции двух величин показывает, что степень сопряженности в вариации двух величин более точно измеряется коэффициентом детерминации (r^2). Коэффициенты детерминации показывают, что только 16 % изменчивости урожайности обусловлено изменчивостью уровня содержания в почве фосфора и 14 % – дозами внесенного азотного удобрения.

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах сои (среднее за 2020–2022 годы)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота кг зерн. ед.
N_0	0,77	–	$\frac{0,83}{(0,06)}$	–	$\frac{0,96}{(0,19)}$	–
N_{20}	$\frac{1,07}{0,30}$	15,0	$\frac{1,20}{0,37}$	18,5	$\frac{1,20}{0,24}$	12,0
N_{40}	$\frac{0,79}{0,02}$	0,5	$\frac{1,18}{0,35}$	8,8	$\frac{1,21}{0,25}$	6,3
N_{60}	$\frac{0,98}{0,21}$	3,5	$\frac{1,26}{0,43}$	7,2	$\frac{1,18}{0,22}$	3,7
Среднее	$\frac{0,93}{0,16}$	4,0	$\frac{1,21}{0,38}$	9,5	$\frac{1,20}{0,24}$	6,0

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счет азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счет содержания P_2O_5 в почве.

Table 2
Efficiency of application of nitrogen fertilizers on different backgrounds P_2O_5 soil availability in soybean crops (average for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	0.77	–	$\frac{0.83}{(0.06)}$	–	$\frac{0.96}{(0.19)}$	–
N_{20}	$\frac{1.07}{0.30}$	15.0	$\frac{1.20}{0.37}$	18.5	$\frac{1.20}{0.24}$	12.0
N_{40}	$\frac{0.79}{0.02}$	0.5	$\frac{1.18}{0.35}$	8.8	$\frac{1.21}{0.25}$	6.3
N_{60}	$\frac{0.98}{0.21}$	3.5	$\frac{1.26}{0.43}$	7.2	$\frac{1.18}{0.22}$	3.7
Average	$\frac{0.93}{0.16}$	4.0	$\frac{1.21}{0.38}$	9.5	$\frac{1.20}{0.24}$	6.0

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Таким образом, при выращивании сои на семена ее необходимо размещать на полях с обеспеченностью почвы подвижным фосфором не ниже средней и с внесением стартовой дозы азотного удобрения.

Соя – культура белково-масличная, обычно среднее содержание белка в семенах современных сортов достигает 40 %. Особенностью белков сои является высокая концентрация в них лизина – незаменимой аминокислоты, острый дефицит которой имеется в большинстве растительных белков.

В наших исследованиях мы приводим общее содержание белка. Так, в результате анализа содержания белка в семенах сои, полученных в наших исследованиях, выявлено, что азотное удобрений повышает содержание белка, при этом с увеличением дозы азотного удобрений содержание белка возрастало с 31,6 % на контрольном варианте до 40,3 % при внесении 60 кг/га д. в. азота. Содержание жира,

напротив, под действием азотных удобрений снижалось: на контрольном варианте оно составило 25,5 %, при внесении азота в дозе 20 кг/га д. в. упало до 23,1 %, при дозе азота 40 – до 20,8 %, при дозе 60 – до 20,3 %.

Почвенный фосфор не оказывал никакого влияния на содержание белка и жира в семенах сои (таблица 3).

На рис. 1 наглядно представлена картина изменения содержания белка и жира от дозы азотного удобрения. Содержание белка растет по мере увеличения дозы азота, в то время как концентрация жира в семенах сои, наоборот, снижается (рис. 1).

Важными показателями, характеризующими эффективность применяемых удобрений, являются содержание элементов питания в урожае биомассы культур, общий их вынос и затраты на формирование единицы продукции.

Общий вынос основных элементов минерального питания растений сои при внесении азотных удобрений увеличивался как при внесении на естественном фоне, так и на фоне последействия. На фоне последействия остаточного фосфора вынос азота, фосфора и калия также возрастал, но в мень-

ших размерах. Затраты на формирование 1 т урожая сои: 58,5–64,4 кг азота, 15,1–18,1 кг фосфора, 39,3–42,5 кг калия. На фоне последействия фосфорных удобрений затраты азота на 1 т зерна снижались, фосфора, напротив, возрастали в 1,5 раза, а затраты калия были на уровне контрольного варианта.

Таблица 3

Влияние азотного удобрения и остаточного фосфора почвы на показатели качества семян сои (2020–2022 годы)

Вариант	Доза азота, кг/га д. в.	Содержание в почве P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание, %		Сбор, кг/га	
			Белка	Жиры	Белка	Жиры
0	–	60	31,6	25,5	243,3	196,4
N ₁	20	60	36,4	23,1	389,5	247,2
N ₂	40	60	40,3	20,8	318,4	164,3
N ₃	60	60	40,3	20,3	394,9	198,9
P ₁	–	80	31,4	24,6	273,2	214,0
P ₂	–	60	28,3	25,0	223,6	197,5
P ₃	–	120	32,5	24,4	312,0	234,2
N ₁ P ₁	20	80	34,5	23,9	414,0	286,8
N ₂ P ₂	40	60	35,0	22,0	420,0	264,0
N ₃ P ₃	60	120	39,4	21,5	464,9	253,7

Table 3

Effect of nitrogen fertilization and residual soil phosphorus on soybean seed quality scores (2020–2022)

Option	Dose of nitrogen, kg/ha a. i.	P2O5 content in soil, mg/kg	Content, %		Collection, kg/ha	
			Protein	Fat	Protein	Fat
0	–	60	31.6	25.5	243.3	196.4
N ₁	20	60	36.4	23.1	389.5	247.2
N ₂	40	60	40.3	20.8	318.4	164.3
N ₃	60	60	40.3	20.3	394.9	198.9
P ₁	–	80	31.4	24.6	273.2	214.0
P ₂	–	60	28.3	25.0	223.6	197.5
P ₃	–	120	32.5	24.4	312.0	234.2
N ₁ P ₁	20	80	34.5	23.9	414.0	286.8
N ₂ P ₂	40	60	35.0	22.0	420.0	264.0
N ₃ P ₃	60	120	39.4	21.5	464.9	253.7

Таблица 4

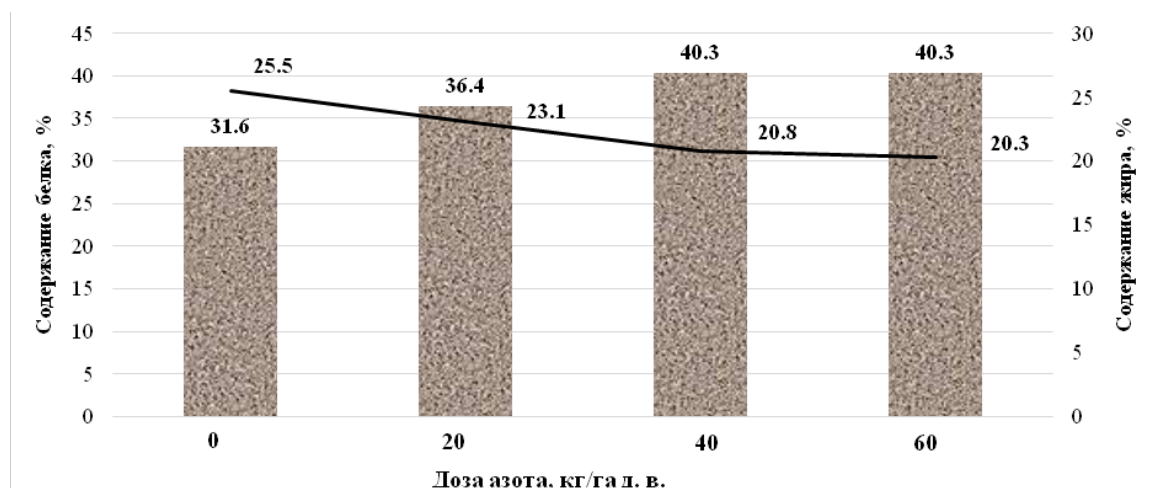


Рис. 1. Динамика изменения показателей качества семян сои в зависимости от дозы азотного удобрения

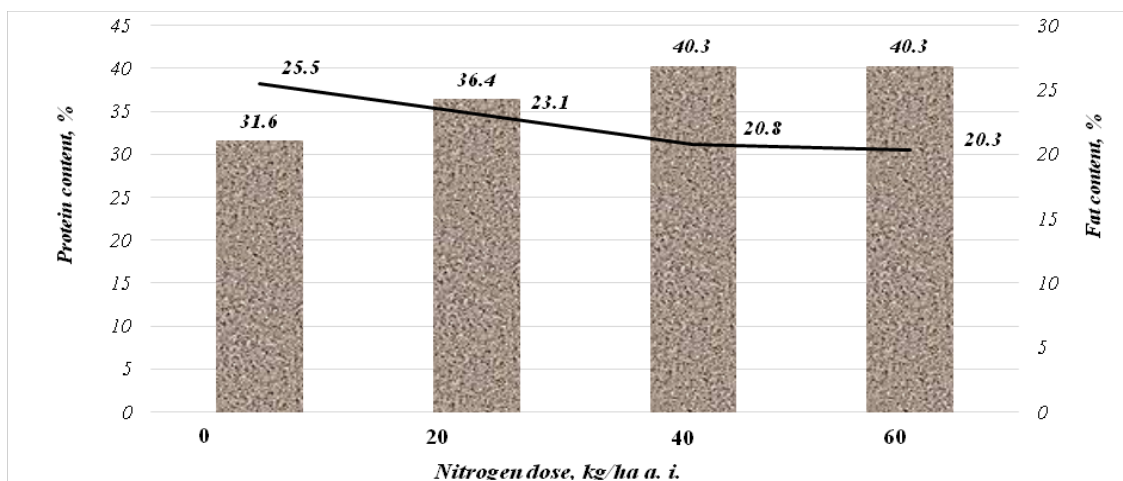


Fig. 1. Dynamics of changes in soybean seed quality indicators depending on the doses of nitrogen fertilizer

Вынос основных макроэлементов питания растениями сои в зависимости от доз азотного удобрения и запасов подвижного фосфора почвы

Вариант	Общий вынос, кг/га			Вынос 1 т зерна, кг		
	N	P	K	N	P	K
0	36,6	12,2	32,5	52,3	17,4	46,4
N ₁	64,4	19,9	46,7	58,5	18,1	42,5
N ₂	51,5	12,4	31,4	64,4	15,5	39,3
N ₃	62,1	15,1	39,7	62,1	15,1	39,7
P ₁	47,7	16,2	38,7	53,0	18,0	43,0
P ₂	43,0	16,0	35,8	53,8	20,0	44,8
P ₃	31,6	19,8	43,9	31,6	19,8	43,9
N ₁ P ₁	41,2	22,0	54,5	34,3	18,3	45,4
N ₂ P ₂	42,1	22,8	50,5	35,1	19,0	42,1
N ₃ P ₃	65,9	25,1	50,9	54,9	20,9	42,4

Table 4
Removal of the main macronutrients by soybean plants depending on the doses of nitrogen fertilizer and reserves soil mobile phosphorus

Option	Total removal, kg/ha			Removal of 1 ton of grain, kg		
	N	P	K	N	P	K
0	36.6	12.2	32.5	52.3	17.4	46.4
N ₁	64.4	19.9	46.7	58.5	18.1	42.5
N ₂	51.5	12.4	31.4	64.4	15.5	39.3
N ₃	62.1	15.1	39.7	62.1	15.1	39.7
P ₁	47.7	16.2	38.7	53.0	18.0	43.0
P ₂	43.0	16.0	35.8	53.8	20.0	44.8
P ₃	31.6	19.8	43.9	31.6	19.8	43.9
N ₁ P ₁	41.2	22.0	54.5	34.3	18.3	45.4
N ₂ P ₂	42.1	22.8	50.5	35.1	19.0	42.1
N ₃ P ₃	65.9	25.1	50.9	54.9	20.9	42.4

Таблица 5

Продуктивность зернопаротравяного севооборота без применения удобрений составила 1,84 т/га зерн. ед., за счет последствий ранее внесенных фосфорных удобрений продуктивность возросла на 0,20–0,37 т/га зерн. ед. Максимальная продуктивность севооборота (2,67 т/га зерн. ед.)

получена на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором и внесении 75 кг/га севооборотной площади азота, а наибольшая окупаемость единицы азотного удобрения (20,4 кг зерн. ед.) получена на этом же фоне, но при минимальной дозе (таблица 5).

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в зернопаротравяном севообороте с соей (за 2020–2022 годы)

Агротехнологии

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.
N_0	1,84	–	$\frac{2,04}{(0,20)}$	–	$\frac{2,21}{(0,37)}$	–
N_{25}	$\frac{2,09}{0,25}$	10,0	$\frac{2,55}{0,51}$	20,4	$\frac{2,52}{0,31}$	12,4
N_{50}	$\frac{2,01}{0,17}$	4,3	$\frac{2,45}{0,41}$	8,2	$\frac{2,65}{0,44}$	8,8
N_{75}	$\frac{2,03}{0,19}$	2,5	$\frac{2,67}{0,63}$	8,4	$\frac{2,64}{0,43}$	5,7
Среднее	$\frac{2,04}{0,20}$	4,0	$\frac{2,56}{0,52}$	10,4	$\frac{2,60}{0,39}$	7,8

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счет азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счет содержания P_2O_5 в почве.

Table 5

Efficiency of application of nitrogen fertilizers against different backgrounds of P_2O_5 availability of soil in grain-fallow crop rotation with soybeans (for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	1.84	–	$\frac{2.04}{(0.20)}$	–	$\frac{2.21}{(0.37)}$	–
N_{25}	$\frac{2.09}{0.25}$	10.0	$\frac{2.55}{0.51}$	20.4	$\frac{2.52}{0.31}$	12.4
N_{50}	$\frac{2.01}{0.17}$	4.3	$\frac{2.45}{0.41}$	8.2	$\frac{2.65}{0.44}$	8.8
N_{75}	$\frac{2.03}{0.19}$	2.5	$\frac{2.67}{0.63}$	8.4	$\frac{2.64}{0.43}$	5.7
Average	$\frac{2.04}{0.20}$	4.0	$\frac{2.56}{0.52}$	10.4	$\frac{2.60}{0.39}$	7.8

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Таблица 6

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в зернопаротравяном севообороте с горохом (за 2020–2022 гг.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.
N_0	1,92	–	$\frac{2,14}{(0,22)}$	–	$\frac{2,29}{(0,37)}$	–
N_{25}	$\frac{2,14}{0,22}$	8,8	$\frac{2,61}{0,47}$	18,8	$\frac{2,56}{0,27}$	10,8
N_{50}	$\frac{2,08}{0,16}$	3,2	$\frac{2,50}{0,36}$	7,2	$\frac{2,70}{0,41}$	8,2
N_{75}	$\frac{2,08}{0,16}$	2,1	$\frac{2,72}{0,58}$	7,7	$\frac{2,70}{0,41}$	5,5
Среднее	$\frac{2,10}{0,18}$	3,6	$\frac{2,61}{0,47}$	9,4	$\frac{2,65}{0,36}$	7,2

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Table 6

Efficiency of application of nitrogen fertilizers against different backgrounds of P_2O_5 soil availability in grain-grass crop rotation with peas (for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	1.92	–	$\frac{2.14}{(0.22)}$	–	$\frac{2.29}{(0.37)}$	–
N_{25}	$\frac{2.14}{0.22}$	8.8	$\frac{2.61}{0.47}$	18.8	$\frac{2.56}{0.27}$	10.8
N_{50}	$\frac{2.08}{0.16}$	3.2	$\frac{2.50}{0.36}$	7.2	$\frac{2.70}{0.41}$	8.2
N_{75}	$\frac{2.08}{0.16}$	2.1	$\frac{2.72}{0.58}$	7.7	$\frac{2.70}{0.41}$	5.5
Average	$\frac{2.10}{0.18}$	3.6	$\frac{2.61}{0.47}$	9.4	$\frac{2.65}{0.36}$	7.2

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Сравнительная оценка зернопаротравяного севооборота с горохом показала одинаковую продуктивность с севооборотом с соей. Закономерности, выявленные в севооборотах, как по выходу зерновых единиц, так и по окупаемости единицы азотного удобрения равнозначны. Разница между севооборотами составляет менее 5 %, что говорит о большой сходимости результатов исследований (таблица 6).

Однако если оценивать севообороты по выходу белка и жира, то севооборот с соей имеет несомненное преимущество: по выходу белка с севооборотной площади севооборота равноценны, но включение в севооборот сои дает ей несомненное преимущество из-за дополнительного выхода жира. Следует заметить, что в мировом растениеводстве производство этой культуры развивается очень динамично, что вызвано возрастающим спросом на растительное масло [20, с. 205; 21, с. 15; 22, с. 7; 23, с. 16].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Азотное удобрение на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором позволяло повысить урожайность семян сои на 0,21–0,43 т/га в зависимости от дозы, причем с повышением дозы прибавка изменялась незначительно.

Внесение азотного удобрения повышает содержание белка, при этом с увеличением дозы азотного удобрения содержание белка возрастало с 31,6 % на контрольном варианте до 40,3 % при внесении 60 кг/га д. в. азота, а содержание жира под действие азотных удобрений снижалось с 25,5 до 20,3 %;

Включение в зернопаротравяной севооборот вместо гороха новой для условий лесостепи Южного Зауралья бобовой культуры – сои – является оправданным за счет получения ценного продукта – масла.

Библиографический список

1. Соя / Под ред. Ю. П. Мякушко, В. Ф. Баранова. Москва: Колос, 1984. 332 с.
2. Башкатов А. Я., Минченко Ж. Н., Стифеев А. И. Современные технологии возделывания сои: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 188 с.
3. Шарипова Г. Ф., Колесар В. А., Сафин Р. И. Эффективность применения удобрений с микроэлементами на различных сортах сои // Плодородие. 2020. № 3. С. 9–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.02.
4. Петрова А. Н., Калицкая Н. Г. Оценка в условиях Амурской области коллекционных образцов сои различного эколого-географического происхождения // Вестник КрасГАУ. 2020. № 9. С. 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52.
5. Галиченко А. П., Фокина Е. М. Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои // Аграрный вестник Урала. 2022. № 7 (222). С. 16–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25.
6. Гуреева Е. В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31.
7. Шаталина Л. П., Карпинская О. Н., Прядун Ю. П. Изучение элементов технологии возделывания сои на зерно и зеленую массу // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 4 (72). С. 105–108.

8. Гуреева Е. В., Гвоздев В. А., Овсянникова М. В., Маркова В. Е. Влияние известкования на урожайность и качество зерна сои в условиях Рязанской области // Орошаемое земледелие. 2021. № 1. С. 48–51. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-1-8.
9. Иванов А. И., Конашенков А. А., Воробьев В. А., Иванова Ж. А., Вязовский А. А., Петров И. И. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // Агрохимический вестник. 2019. № 6. С. 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081.
10. Гладышева О. В., Свирина В. А., Артюхова О. А. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота при длительном применении минеральных удобрений с известкованием // Плодородие. 2021. № 1 (118). С. 27–29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08.
11. Юмашев Х. С., Захарова И. А. Влияние минеральных удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и продуктивность культур севооборота // Материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями. Москва, 2022. С. 237–252.
12. Волынкина О. В. Длительность последствий минеральных удобрений в опыте Курганского НИИСХ // Агрохимия. 2023. № 4. С. 44–50. DOI: 10.31857/S0002188123040154.
13. Yuzbashkandi S. S., Khalilan S. On Projecting Climate Change Impacts on Soybean Yield in Iran: an Econometric Approach // Environmental Processes. 2020. No. 7. Pp. 73–87.
14. Гладышева О. В., Свирина В. А., Черногаев В. Г. Длительное воздействие минеральных удобрений на питательный режим почвы и урожайность сои // Плодородие. 2022. № 6. С. 70–72. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.18.
15. Аканова Н. И., Козлова А. В., Фокин С. А., Солнцев П. И. Эффективность применения магниевых удобрений при возделывании сои на различных типах почв // Плодородие. 2022. № 5. С. 55–60. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.14.
16. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China // Journal of Animal and Plant Sciences. 2019. Vol. 29. Iss. 5. Pp. 1383–1389.
17. Liu L., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China // American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology. 2020. Vol. 26. Iss. 1. Pp. 10–18.
18. Шаповалова Н. Н. Динамика показателей плодородия и продуктивность чернозема обыкновенного в последствии длительного применения минеральных удобрений в условиях Центрального Предкавказья // Известия Оренбургского ГАУ. 2019. № 3 (77). С. 8–12.
19. Макаров М. Р., Макаров В. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность семян сои в условиях северо-востока ЦЧЗ [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 3. URL: <https://web.snauka.ru/issjues/2023/03/100106> (дата обращения: 07.06.2023).
20. Синеговский М. О. Современное состояние и перспективы исследований сои // Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения выдающегося селекционера кандидата биологических наук Лидии Карповны Малыш. Благовещенск, 2020. С. 211.
21. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Мониторинг плодородия чернозёмных почв Южного Зауралья: монография. Челябинск: Изд-во Челябинского университета, 2023. 121 с.
22. Агеев А. А., Анисимов А. А., Анисимов Ю. Б. [и др.] Рекомендации семинара по возделыванию зерновых и зернобобовых культур, посвящённых 85-летию селекции яровой пшеницы и 45-летию селекции ярового ячменя в ФГБНУ «Челябинский НИИСХ». Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. 73 с.
23. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.

Об авторах:

Харис Садрейвич Юмашев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0000-0002-0911, AuthorID 487280. *E-mail:* chniisx2@mail.ru

Ирина Александровна Захарова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0000-0002-5770, AuthorID 965725. *E-mail:* chniisx2@mail.ru

Владимир Яковлевич Крамаренко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0009-0002-5887-8142, AuthorID 618056. E-mail: chniisx2@mail.ru

References

1. Soy / Under the editorship of Yu. P. Myakushko, V. F. Baranov. Moscow: Kolos, 1984. 332 p. (In Russ.)
2. Bashkatov A. Ya., Minchenko Zh. N., Stifeyev A. I. Modern technologies of soybean cultivation: a textbook for universities. Saint Petersburg: Lan', 2022. 188 p. (In Russ.)
3. Sharipova G. F., Kolesar V. A., Safin R. I. Efficiency of application of fertilizers with microelements on various varieties of soy. *Plodorodie*. 2020; 3: 9–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.02. (In Russ.)
4. Petrova A. N., Kalitskaya N. G. The assessment of the collection samples of soybean of various ecological and geographical origins in the conditions of the Amur region *Bulletin of KrasGAU*. 2020; 9: 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52. (In Russ.)
5. Galichenko A. P., Fokina E. M. Meteorological effects in formation of the yield of soybean varieties bred by ARSRI of soybean. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 07 (222): 16–25. (In Russ.)
6. Gureeva E. V. Influence of meteorological conditions on economically valuable traits of soybeans. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021; 1: 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31. (In Russ.)
7. Shatalina L. P., Karpinskaya O. N., Pryadun Yu. P. Studying the elements of soybean cultivation technology for grain and green mass. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2018; 4 (72): 105–108. (In Russ.)
8. Gureeva E. V., Gvozdev V. A., Ovsyannikova M. V., Markova V. E. Influence of lime on yield and quality of soy bean grain in the conditions of the Ryazan region. *Irrigated Agriculture*. 2021; 1: 48–51. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-1-8. (In Russ.)
9. Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Vorob'yev V. A., Ivanova Zh. A., Vyazovskiy A. A., Petrov I. I. Topical issues of liming acid soils of Non-Chernozem zone. *Agrochemical Herald*. 2019; 6: 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081. (In Russ.)
10. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Artyukhova O. A. Fertility change of soil and crop productivity under the long-term application of mineral fertilizers and lime ameliorants. *Plodorodie*. 2021; 1 (118): 27–29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08. (In Russ.)
11. Yumashev Kh. S., Zakharova I. A. The influence of mineral fertilizers on the fertility of leached chernozem and the productivity of crop rotation. *Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry and the 80th anniversary of the Geographical Network of Experiments with Fertilizers*. Moscow, 2022. Pp. 237–252. (In Russ.)
12. Volynkina O. V. The duration of the aftereffect of mineral fertilizers in the experience of the Kurgan Research Institute of Agriculture. *Agrochemistry*. 2023; 4: 44–50. DOI: 10.31857/S0002188123040154. (In Russ.)
13. Yuzbashkandi S. S., Khalilan S. On Projecting Climate Change Impacts on Soybean Yield in Iran: an Econometric Approach. *Environmental Processes*. 2020; 7: 73–87.
14. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Chernogayev V. G. Long-term effect of mineral fertilizers on the nutrient regime of dark gray forest soil and soybean yield. *Plodorodie*. 2022; 6: 70–72. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.18. (In Russ.)
15. Akanova N. I., Kozlova A. V., Fokin S. A., Solntsev P. I. The effectiveness of the use of magnesium fertilizers in the cultivation of soybean on various types of soils. *Plodorodie*. 2022; 5: 55–60. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.14. (In Russ.)
16. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2019; 29 (5): 1383–1389.
17. Liu L., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*. 2020; 26 (1): 10–18.
18. Shapovalova N. N. Dynamics of fertility indicators and productivity of ordinary chernozem in the aftereffect of long-term use of mineral fertilizers in the conditions of the Central Ciscaucasia. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2019; 3 (77): 8–12. (In Russ.)
19. Makarov M. R., Makarov V. M. Influence of mineral fertilizers on the yield of soybean seeds in the conditions of the northeast of the CCR. *Electronic scientific & practical journal "Modern scientific researches and innovations"* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jun 07]; 3. Available from: <https://web.snauka.ru/issues/2023/03/100106>. (In Russ.)
20. Sinegovskiy M. O. Current state and prospects for soybean research. *Collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of*

the birth of the outstanding breeder, candidate of biological sciences Lidia Karpovna Malysh. Blagoveshchensk, 2020. 254 p. (In Russ.)

21. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Monitoring the fertility of chernozem soils in the Southern Trans-Urals: monograph. Chelyabinsk: Publishing house of the Chelyabinsk State University, 2023. 121 p. (In Russ.)

22. Ageev A. A., Anisimov A. A., Anisimov Yu. B. et al. Recommendations of a seminar on the cultivation of grain and leguminous crops dedicated to the 85th anniversary of the selection of spring wheat and the 45th anniversary of the selection of spring barley at the Chelyabinsk Research Institute of Agriculture. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2022. 73 p. (In Russ.)

23. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Chernozem humus state change of the chelyabinsk region as an agricultural use result. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 2 (179): 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russ.)

Authors' information:

Kharis S. Yumashev, candidate of agricultural sciences, leading researcher, laboratory of agrochemistry, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0000-0002-0911, AuthorID 487280. *E-mail: chniisx2@mail.ru*

Irina A. Zakharova, candidate of biological sciences, leading researcher, laboratory of agrochemistry, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0000-0002-5770, AuthorID 965725. *E-mail: chniisx2@mail.ru*

Vladimir Yu. Kramarenko, candidate of agricultural sciences, leading researcher, laboratory of agrolandscape agriculture, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0009-0002-5887-8142, AuthorID 618056. *E-mail: chniisx2@mail.ru*

Использование процесса проращивания для повышения антиоксидантных свойств сырья

Н. В. Науменко¹✉, Р. И. Фаткуллин¹, О. П. Неверова², И. В. Калинина¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: Naumenkonv@susu.ru

Аннотация. Разработка технологии контролируемого проращивания зерна и сырьевых ингредиентов на их основе, а также адаптация методов и подходов для каждой отдельной культуры является одним из перспективных направлений в разработке линейки пищевой продукции, отвечающей всем требованиям современного населения. **Новизна исследований** заключается в использовании кратковременного температурного воздействия в качестве обеззараживающего этапа перед процессом проращивания зерна ячменя и формировании доказательной базы, что данный тип воздействия не оказывает негативного влияния на проведение остальных технологических этапов. **Цель** исследования – изучение возможности использования зерна ячменя в технологии проращивания для дальнейшего получения сырьевых ингредиентов с повышенными антиоксидантными свойствами. **Методы исследований.** В качестве объектов исследования было определено зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) урожая 2019–2022 гг. Получение пророщенного зерна включало отдельные технологические этапы: обеззараживание (кратковременное воздействие высоких температур), замачивание (в воде при 20 ± 2 °C в течение 20 часов) и проращивание (в камере с температурой 22 ± 2 °C и влажностью воздуха 95 ± 3 % с диапазоном времени 12–48 часов). Стандартными методами оценивали органолептические показатели, влажность, натуру, массовую долю белка, способность и энергию проращивания, а также микробиологические показатели. Для выбора оптимальной продолжительности проращивания контролировалось общее содержание флавоноидов, полифенолов и антиоксидантная активность. **Результаты.** В результате проведенных исследований установлено, что использование кратковременного термического воздействия температура 190 °C и продолжительность 10 с позволяют минимизировать риски активации развития присутствующей микрофлоры зерна ячменя. Использование предлагаемых подходов при проведении технологического этапа проращивания позволило выявить оптимальную длительность процесса – 36 часов, что приводит к увеличению общей антиоксидантной активности с средним на 46 %, содержания флавоноидов на 560 % и полифенолов на 145 %.

Ключевые слова: зерно ячменя, обеззараживание, проращивание, растительные сырьевые ингредиенты

Для цитирования: Науменко Н. В., Фаткуллин Р. И., Неверова О. П., Калинина И. В. Использование процесса проращивания для повышения антиоксидантных свойств сырья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 197–206. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-197-206>.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, номер проекта 23-26-00290.

Дата поступления статьи: 07.11.2023, **дата рецензирования:** 12.11.2023, **дата принятия:** 25.12.2023.

Using the germination process to increase the antioxidant properties of raw materials

N. V. Naumenko¹✉, R. I. Fatkullin¹, O. P. Neverova², I. V. Kalinina¹

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: Naumenkonv@susu.ru

Abstract. The development of technology for controlled germination of grains and raw ingredients based on them, as well as the adaptation of methods and approaches for each individual crop, is one of the promising areas in the development of a line of food products that meets all the requirements of the modern population. The novelty of the research lies in the use of short-term temperature exposure as a disinfecting step before the process of germination of barley grain and the formation of an evidence base that this type of exposure does not have a negative impact on the remaining technological stages. **The purpose of the study** was to study the possibility of using barley grain in germination technology for the further production of raw ingredients with increased antioxidant properties. **Research methods.** The objects of study were barley grain (*Hordeum vulgare L.*), harvested from 2019 to 2022. The production of sprouted grain included separate technological stages: disinfection (short-term exposure to high temperatures), soaking (in water at 20 ± 2 °C for 20 hours) and germination (in a chamber with a temperature of 22 ± 2 °C and air humidity 95 ± 3 %, with a time range of 12–48 hours). Standard methods were used to evaluate: organoleptic indicators, humidity, nature, mass fraction of protein, ability and energy of germination, as well as microbiological indicators. To select the optimal duration of germination, the total content of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity was controlled. **Results.** As a result of the studies, it was established that the use of short-term thermal exposure at a temperature of 190 °C and a duration of 10 s allows minimizing the risks of activating the development of the present microflora of barley grain. Using the proposed approaches, when carrying out the technological stage of germination, it was possible to identify the optimal duration of the process – 36 hours, which leads to an increase in total antioxidant activity by an average of 46 %, flavonoid content by 560 % and polyphenols by 145 %.

Keywords: barley grain, disinfection, germination, vegetable raw ingredients

For citation: Naumenko N. V., Fatkullin R. I., Neverova O. P., Kalinina I. V. Using the germination process to increase the antioxidant properties of raw materials. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 197–206. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-197-206>. (In Russ.)

Acknowledgements. The research was carried out with financial support from the Russian Science Foundation, project number 23-26-00290.

Date of paper submission: 07.11.2023, **date of review:** 12.11.2023, **date of acceptance:** 25.12.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время увеличение количества населения и изменение его образа жизни подталкивают производителей к внедрению инновационных подходов при изменении как сырьевого состава, так и технологии конечных продуктов питания. Для получения качественных изделий повышенной пищевой ценности необходима разработка сырьевых ингредиентов, способных обогащать конечные продукты белками, пищевыми волокнами и биологически активными соединениями, при этом органолептические показатели разработанной линейки продукции должны иметь характеристики выше традиционных [1]. В процессе проращивания происходят сложные физические и метаболические процессы, которые можно сгруппировать в три этапа: гидрата-

ция зерна, активация его эндогенного метаболизма и мобилизация резервного материала [2].

По достижении необходимого значения массовой доли влаги (35–37 %) в зерне инициируется синтез и/или высвобождение растительных гормонов, вызывающих высвобождение деградирующих ферментов (амилазы, протеаз и липаз). В результате наблюдается увеличение содержания свободных аминокислот, γ -аминомасляной кислоты, общего содержания фенолов и, как следствие, антиоксидантной активности, происходит снижение количества антипитательных компонентов (например, фитиновой кислоты), а также отмечается увеличение биодоступности минеральных веществ [3].

В результатах научных исследований, представленных в открытой печати, исследователи отмеча-

ют, что регулярное употребление продуктов, в состав которых входят сырьевые ингредиенты из пророщенного зерна, способствует снижению уровня холестерина в сыворотке крови, артериального давления, уровня глюкозы в крови, инсулина, увеличению абсорбции Zn и Fe и содержания короткоцепочечных жирных кислот в кишечнике [4–7].

На сегодняшний день законодательство РФ только формирует законодательную базу в области создания сырьевых ингредиентов из пророщенных зерновых культур, тогда как в мировой практике можно выделить ряд нормативных документов, регламентирующих качество и безопасность данного вида сырья: ЕС № 208/2013, ЕС № 209/2013, ЕС № 210/2013 [8]. Получение сырьевых ингредиентов из пророщенного зерна требует детальной проработки как на законодательном уровне, так и на технологическом.

Несмотря на то что в литературе представлено большое количество исследований [9], подтверждающих перспективность создания пищевых продуктов с пророщенным зерном, на сегодняшний день большая их часть не соответствует концепции инновационных технологий XXI века не только из-за органолептических и технологических аспектов, но и главным образом из-за отсутствия гарантии их безопасности. Процесс проращивания способен активировать патогенную микрофлору и запустить ряд процессов, приводящих к накоплению микотоксинов, что делает сырьевые ингредиенты непригодными для употребления в пищу. Поэтому первичным вопросом в разработке технологии проращивания должно быть обеспечение его безопасности на основе физических способов воздействия и контроля технологических этапов.

Зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) является одной из старейших культивируемых культур в мире и может внести весомый вклад в формирование мировой агропродовольственной устойчивости системы, что определено Целями в области устойчивого развития (ЦУР) до 2030 г. благодаря хорошей способности культуры адаптироваться к неблагоприятным климатическим условиям, таким как холод, засуха или обеднение почвы. Эта концепция особенно актуальна, если учитывать местные и адаптированные сорта зерновой культуры, которые имеют решающее значение для формирования устойчивости агроэкосистем, особенно в условиях современных глобальных изменений [10]. Кроме того, рядом работ [11], представленных в открытой печати, подчеркивается, что на протяжении многих лет потребление сырьевых ингредиентов из цельнозернового ячменя и его компонентов было связано со снижением риска развития ряда хронических заболеваний, включая сердечно-сосудистые заболевания, метаболический синдром и некоторые формы рака. Тем не менее, несмотря на свой производственный

потенциал и возможность оказывать положительное влияние на организм человека в долгосрочной перспективе, большая часть производимого зерна ячменя используется на корм животным или для производства солода, тогда как только 10–15 % – непосредственно для потребления в пищу населения [12]. На сегодняшний день пищевая промышленность сталкивается с необходимостью разработки новых сырьевых ингредиентов и пищевых продуктов на основе зерна ячменя, которые были бы одновременно полезными и вкусными, что обуславливает актуальность представленного исследования.

Целью исследования было определено изучение возможности использования зерна ячменя в технологии проращивания для дальнейшего получения сырьевых ингредиентов с повышенными антиоксидантными свойствами.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объектов исследования было определено зерно ячменя (*Hordeum vulgare L.*) урожая 2019–2022 гг., выращенное в Уральском регионе России.

Получение качественного растительного сырьевого ингредиента с применением процесса контролируемого проращивания зерна предполагало отдельные технологические этапы: обеззараживание, замачивание и проращивание.

Обеззараживание осуществляли на сухое зерно ячменя с использованием кратковременного воздействия высоких температур в сушильном шкафу СН-360Т, при экспозиции длительности воздействия 5, 10 и 5 секунд в диапазоне температур 120–190 °С.

Для удаления продуктов загрязнения и посторонних веществ зерно предварительно промывали в проточной воде при 20 ± 2 °С в пятикратной повторности.

Замачивание зерна проводили в дистиллированной воде при 20 ± 2 °С в течение 20 часов без доступа световых лучей.

Проращивание зерна проводили в камере с контролируемой температурой 22 ± 2 °С и влажностью воздуха 95 ± 3 %. Проросшее зерно удалялось из камеры по достижении величины роста 1,5–2 мм более чем у 90 % зерен, время проращивания составляло от 12 до 48 часов. Далее зерно высушивалось до влажности 11–12 % и измельчалось в цельнозерновую муку с гранулометрическим составом от 53 до 209 мкм, которая (как сырьевой ингредиент) в дальнейшем может быть использована при получении пищевых продуктов.

Оценку качества зерна ячменя проводили согласно ГОСТ 28672-2019, органолептические показатели – ГОСТ 10967, влажность – ГОСТ 13586.5-2015, натуру – ГОСТ 10840-2017.

Микробиологические показатели определялись согласно ГОСТ 10444.15-94 (количество мезофиль-

ных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ)), ГОСТ 31747-2012 (бактерии группы кишечных палочек (колиформных бактерий)), ГОСТ 10444.12-2013 (плесневые грибы и дрожжи). Наличие плесневой микрофлоры и продуктов их метаболизма (афлатоксин В1) оценивали по методу ААСС 45-15.01 [10].

На этапе проращивания зерна определяли способность и энергию прорастания согласно ГОСТ 10968-88.

Для выбора оптимальной продолжительности проращивания контролировались следующие показатели:

- массовая доля белка (%) согласно ГОСТ 10846-91;
- общее содержание флавоноидов в пересчете на кверцетин (мг-экв (EQ) / 100 г) спектрофотометрическим методом с использованием раствора хлорида алюминия;
- антиоксидантная активность (% DPPH) спектрофотометрическим методом с использованием реактива DPPH;
- общее содержание полифенолов в пересчете на галловую кислоту (мг-экв. (EQ) / 100 г) спектрофотометрическим с использованием реактива Фолина – Чакольтеу [11].

Результаты (Results)

Залогом успешности протекания процесса проращивания, получения безопасных и качественных сырьевых ингредиентов является использование качественного сырья. Входной контроль качества зерна ячменя проводился по расширенной номенклатуре показателей и представлен в таблице 1.

Результаты входного контроля позволяют сказать, что используемое в исследовании зерновое сырье соответствует всем требованиям нормативной документации. Значения натуре находятся в диапазоне 555–589 г/л, что соответствует II–III классу, также отмечаются не высокие значения массовой доли белка. Для проведения исследований и разработки технологии проращивания использовали зерно заведомо низкой классовой для соблюдения экономической эффективности разработки. Для микробиологических показателей характерны минимальные значения, что подтверждает безопасность используемого сырья.

Однако при проведении процессов замачивания и проращивания наибольшую опасность представляют плесневые грибы рода *Aspergillus*, приспособленные к жизни в условиях низкой влажности и активизирующиеся при ее повышении, что является наиболее опасным при производстве продуктов из пророщенного сырья.

Таблица 1

Входной контроль качества зерна ячменя, используемого для проращивания

Наименование показателя	Характеристика исследуемого зерна ячменя
Запах	Свойственный здоровому зерну ячменя
Цвет	Светло-желтый
Состояние	Здоровое, негреющееся зерно
Натура, г/л	555–589
Влажность, %	11,2–12,9
Массовая доля белка, %	11,0–11,6
КМАФАнМ, КОЕ/г	$5,5 \times 10^2$
БГКП (колиформы)	Не обнаружены в 0,1 г
Плесневые грибы, КОЕ/г	15
Дрожжи, КОЕ/г	Менее 10

Table 1

Incoming quality control of barley grain used for germination

Indicator name	Characteristics of the studied barley grain
Smell	Characteristic of healthy barley grain
Color	Light yellow
State	Healthy, non-warming grane
Nature, g/l	555 – 589
Humidity, %	11.2 – 12.9
Mass fraction of protein, %	11.0 – 11.6
QMAFAnM, CFU/g	5.5×10^2
Coliforms (coliforms)	Not detected in 0.1 g
Molds, CFU/g	15
Yeast, CFU/g	Less than 10

Известно, что плесневые грибы рода *Aspergillus* погибают при высокотемпературной обработке в течение длительного времени: при 100 °С. Большинство микроорганизмов присутствуют в околоплоднике зерна, и только несколько видов могут находиться во внутренней части злаков, в основном проникновение происходит через зародыш или в результате механических повреждений. Для исключения активации развития присутствующей микрофлоры был предложен способ кратковременного теплового воздействия при экспозиции длительности 5, 10 и 5 с в диапазоне температур 120–190 °С.

Для качественного определения наличия плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus*, которые являются основными продуцентами афлотоксина В, пробы зерна помещали в провокационные усло-

вия и проводили мониторинг флуоресценции под воздействием ультрафиолетового света (365 нм) на наличие желто-зеленого свечения, обусловленного взаимодействием плесневых грибов с ферментом пероксидазой [13]. Наиболее характерные результаты исследования, согласно методу ААСС 45-15.01, представлены на рис. 1.

При мониторинге флуоресценции в контрольном и опытном образцах (5 с воздействия при температуре 120 °С) уже через 48 часов наблюдалось желто-зеленое свечение, примерно у 25 и 20 % зерен соответственно. Через 120–144 часа во всех образцах, обработанных при температуре 120 °С наблюдалось наличие характерной люминесценции, что может свидетельствовать о накоплении плесневых грибов *A. flavus* или *A. parasiticus*.

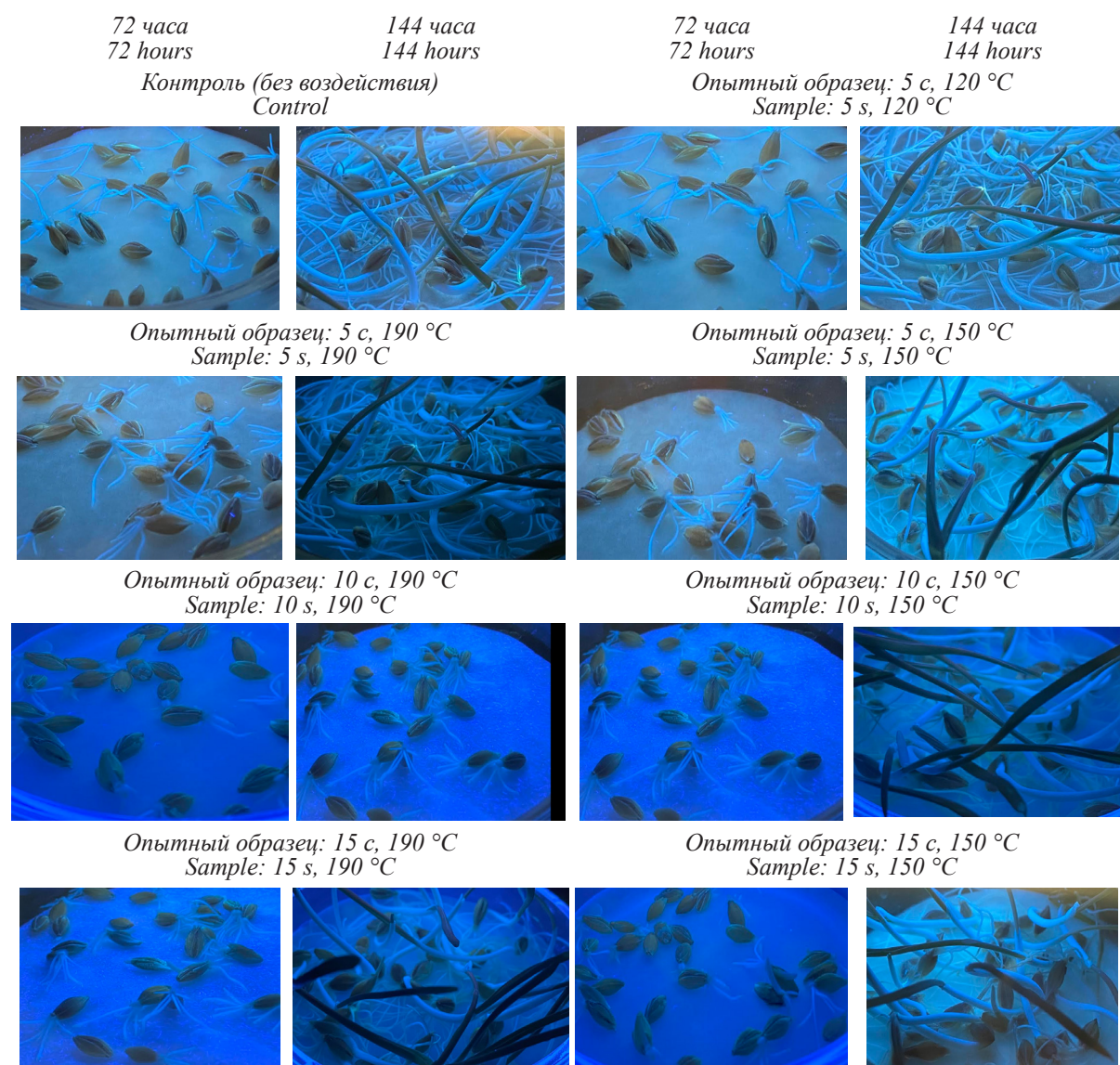
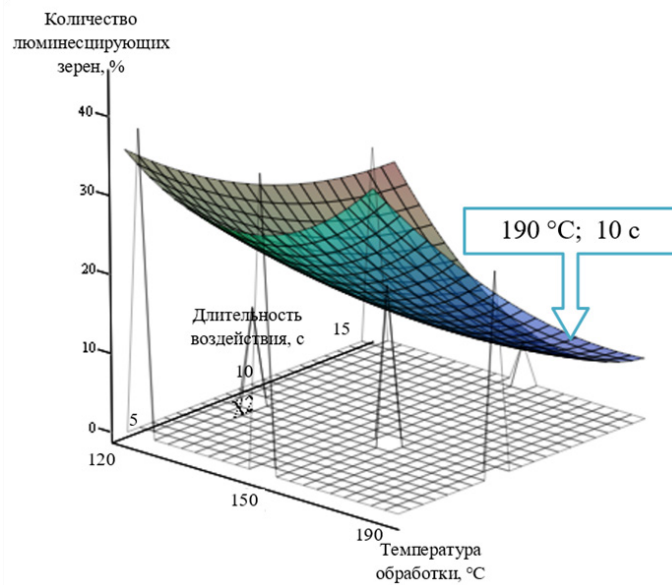
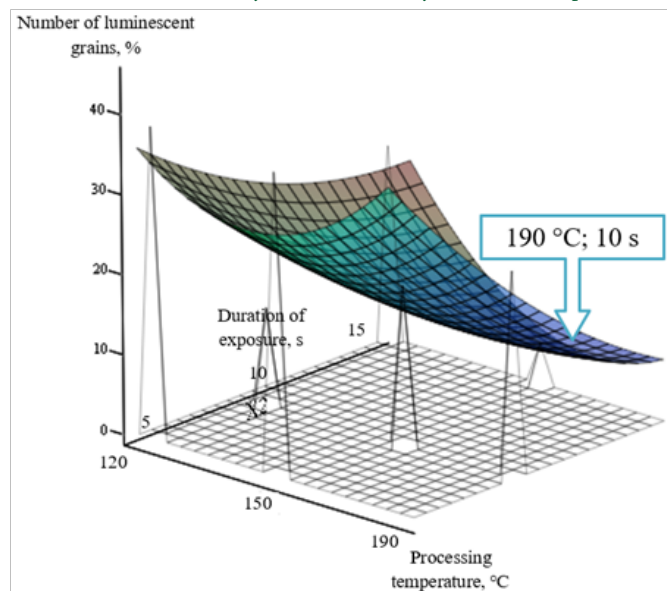


Рис. 1. Характерные результаты флуоресценции образцов зерна ячменя, по методу ААСС 45-15.01
Fig. 1. Typical results of fluorescence of barley grain samples, according to the AACC 45-15.01 method



$$Y_1 = 0,147 \cdot X_1^2 - 6,746 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 0,029 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,372 \cdot X_1 - 2,192 \cdot X_2 - 2,863$$

Рис. 2. Результаты математической обработки и полученного уравнения регрессии полученных экспериментальных данных по поиску оптимальных условий обеззараживания зерна ячменя



$$Y_1 = 0,147 \cdot X_1^2 - 6,746 \cdot 10^{-3} \cdot X_2^2 - 0,029 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,372 \cdot X_1 - 2,192 \cdot X_2 - 2,863$$

Fig. 2. Results of mathematical processing and the resulting regression equation of the experimental data obtained to search for optimal conditions for the disinfection of barley grain

В ходе проведения исследований, было установлено, что такая тепловая обработка не выше 120–150 °C оказывает обеззараживающий эффект только при продолжительности нагрева не менее 10 с. Температурное воздействие 150 °C также позволяет частично снизить количество люминесцирующих зерен и через 72 часа выдерживания в провокационных условиях, можно отметить лишь отдельные единицы зерна, имеющие желто-зеленое свечение, тогда как к 144 часам провокации их количество составляет 15–20 %. Присутствие даже такого значения люминесценции может свидетельствовать об очаговом накоплении плесневых грибов *A. flavus* или *A. Parasiticus*, что может распространиться на весь получаемый сырьевой ингредиент и сде-

лать его потенциально опасным. Кратковременное температурное воздействие 190 °C позволяет максимально снизить количество люминесцирующих зерен и исключить их появление через 72 часа выдерживания в провокационных условиях. Такие параметры воздействия эффективны даже через 144 часа выдерживания зерна в провокационных условиях, что подтверждают результаты, представленные на рис. 1, где видно отсутствие характерной люминесценции.

На основании полученного массива данных была проведена математическая обработка результатов с применением программного продукта Mathcad 16, представленная на рис. 2, и определены наиболее эффективные параметры воздействия.

Таким образом, для обеззараживания зерна ячменя и получения опытного образца был выбран следующий режим тепловой обработки: температура 190 °С и продолжительность 10 с.

На данном этапе исследований было необходимо оценить влияние температуры на интенсивность протекания процессов проращивания зерна ячменя (рис. 3), так как рядом авторов отмечается [14; 15], что длительные воздействия температуры выше 70 °С могут приводить к денатурации белка и гибели зародыша, тогда как кратковременное их воздействие ранее изучено не было.

На основании полученных данных можно сказать о том, что кратковременная тепловая обработка горячим воздухом с температурой 190 °С в течение 10 с не оказывает практически никакого влияния на величину показателей «Энергия прорастания» и «Способность прорастания». Так, у контрольного образца зерна ячменя (без температурного воздействия) значения вышеуказанных показателей состав-

ляют $(82,2 \pm 1,3) \%$ и $(86,5 \pm 1,6) \%$ соответственно. Для опытного образца зерна ячменя (оптимизированного по режимам кратковременной тепловой обработки: температура 190 °С и продолжительность 10 с) значения показателя «Энергия прорастания» варьируется в диапазоне $(83,2 \pm 1,1) \%$, а показателя «Способность прорастания» – $(84,8 \pm 1,7) \%$. Все полученные результаты укладываются в диапазоны погрешности измерений, что подтверждает минимальное влияние данного способа обеззараживания на интенсивность протекания дальнейших процессов замачивания и проращивания.

Подобные результаты были получены для определения массовой доли белка, %. Так, значения для контрольного образца зерна ячменя варьируется в диапазоне $(11,3 \pm 0,5) \%$, а для опытного образца зерна ячменя – $(11,2 \pm 0,6) \%$. Полученные результаты подтверждают возможность использования данного способа обеззараживания в технологии проращивания зерна ячменя.

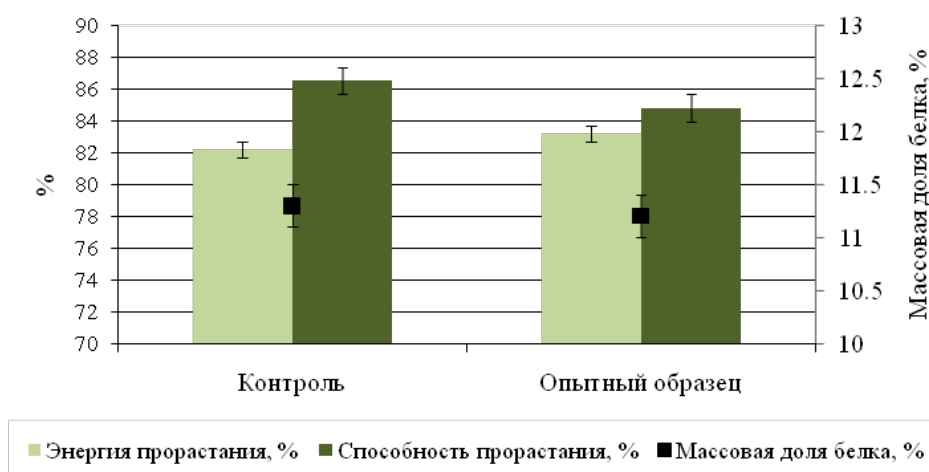


Рис. 3. Результаты определения влияния кратковременного воздействия высоких температур на интенсивность протекания процессов проращивания зерна ячменя

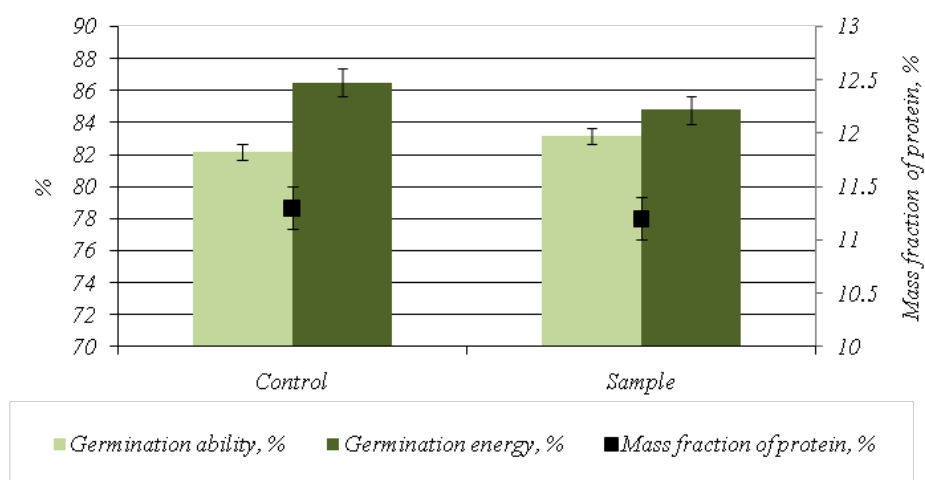


Fig. 3. Results of determining the influence of short-term exposure to high temperatures on the intensity of barley grain germination processes

В результате процесса проращивания становятся более мягкими оболочечные части зерна ячменя, инициируется синтез ряда ферментов, таких как α -амилаза и α -глюкозидаза, что приводит к частичному гидролизу крахмала до глюкозы, мальтозы и мальтотриозы [2]. Уменьшается количество нерастворимых пищевых волокон, что сопровождается увеличением количества растворимой клетчатки [5; 6]. Разрушение нерастворимых пищевых волокон может быть вызвано образованием β -галактозидаз, которые действуют на галактоманнан и образуют галактозы [5]. Также в процессе проращивания высвобождаются из алейронового слоя и щитка протеолитические ферменты эндопептидазы, что приводит к деградации запасных белков [2] и, как

следствие, к более высокой биодоступности белка по сравнению с мукой из исходного зерна. Наблюдается увеличение фенольных соединений и антиоксидантной активности пророщенного ячменя [8], что обусловлено синтезом флавоноидов и полифенолов.

На следующем этапе исследований была поставлена задача проанализировать зависимость интенсивности накопления полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности от продолжительности проращивания зерна ячменя. Результаты определения содержания полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности в динамике процесса проращивания (12, 24, 36 и 48 часов) представлены на рис. 4.

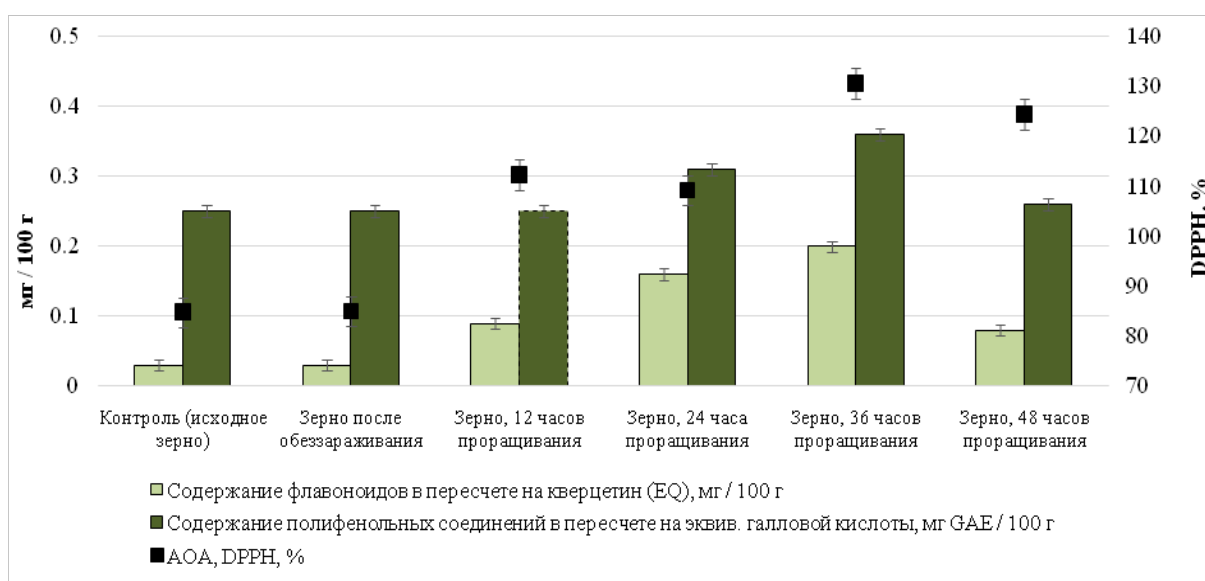


Рис. 4. Результаты определения содержания полифенолов, флавоноидов и общей антиоксидантной активности в динамике процесса проращивания

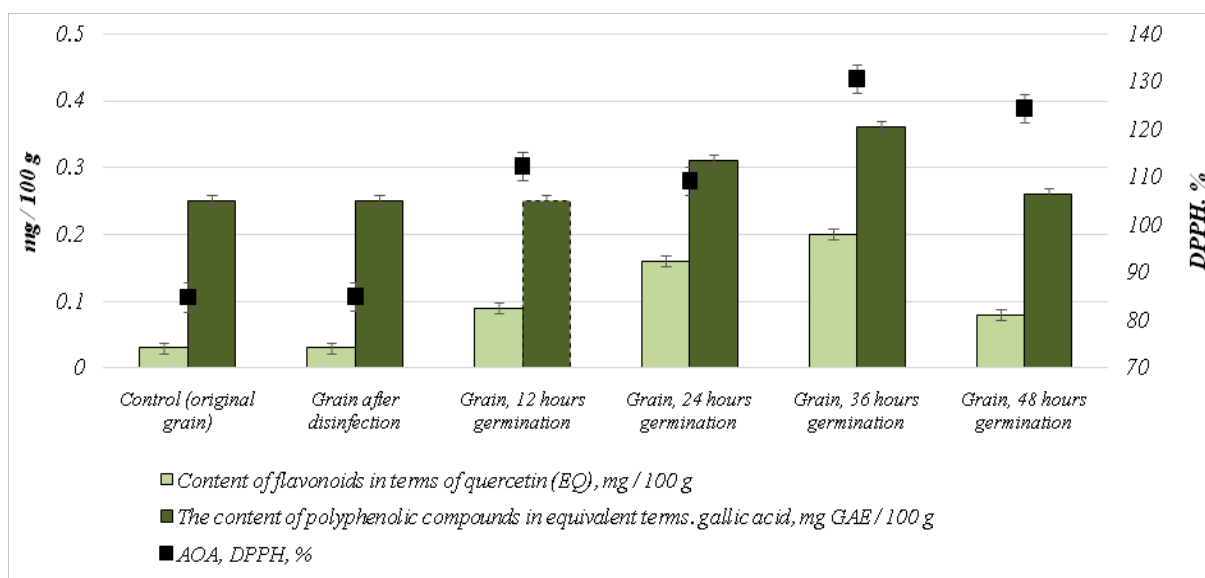


Fig. 4. Results of determining the content of polyphenols, flavonoids and total antioxidant activity in the dynamics of the germination process

Процесс обеззараживания не оказывает значительного влияния на антиоксидантные свойства зерна. Через 12 часов отмечается некоторое снижение содержания флавоноидов и полифенольных соединений, что может быть вызвано их частичным переходом в воду в процессе замачивания и активацией процесса проращивания. Наибольший прирост содержания полифенолов (в среднем на 145 %) и флавоноидов (в среднем в 6 раз) можно отметить через 36 часов проращивания, что также способствует максимальному увеличению антиоксидантной активности на данном промежутке времени (в среднем на 46 %), тогда как через 48 часов наблюдается падение вышеуказанных показателей. Аналогичная динамика (увеличение фенольных веществ и антиоксидантной активности в проросших злаковых культурах) описана в ряде исследований [16], где подчеркивается роль полифенольных соединений как веществ, защищающих зерно от стресса в процессе проращивания. При этом отмечается, что такой прирост максимален через 36 часов после начала проращивания ячменя, поскольку после этого начинается процесс лигнификации, приводящий к превращению фенольных соединений в лигнаны или лигнин [17].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность и перспективность технологии проращивания зерна ячменя для дальнейшего получения безопасных сырьевых ингредиентов, обладающих антиоксидантными свойствами и способных оказывать положительное влияние на организм человека в долгосрочной перспективе. Используя

технологии обеззараживания, путем краткосрочного теплового воздействия (температура 190 °C и продолжительность 10 с) можно гарантировать исключение активации развития присутствующей микрофлоры зерна ячменя, в частности, плесневых грибов *A. flavus* или *A. Parasiticus*, наиболее характерных для данного вида зерновой культуры. А проведение дальнейших технологических этапов замачивания (при температуре 20 ± 2 °C в течение 20 часов без доступа световых лучей) и проращивания (при температуре 22 ± 2 °C и влажности воздуха 95 ± 3 % в течение 36 часов) позволит увеличить общую антиоксидантную активности с средним на (46 ± 4) %, содержания флавоноидов – на (560 ± 15) %, полифенолов – на (145 ± 14) %.

Вместе с тем для более глубокого понимания процессов проращивания зерна и получения пищевых продуктов на их основе необходимы дополнительные исследования, направленные на установление механизмов взаимодействия отдельных структурных элементов пищевой системы с сырьевыми ингредиентами из пророщенного зерна. Несомненно, для пищевой индустрии данное направление является перспективным и позволит получить линейку продуктов, обладающих рядом полезных для потребителя свойств. В качестве одного из перспективных направлений можно предложить частичную замену сортовой пшеничной муки в рецептуре хлебобулочных изделий мукой из пророщенного зерна ячменя с коррелирующим гранулометрическим составом, что позволит встраивать данное сырье в матрицу теста, активировать процесс брожения и получать готовый продукт высокого качества.

Библиографический список (References)

1. Amoah I., Cairncross C., Sturny A., Rush E. Towards improving the nutrition and health of the aged: The role of sprouted grains and encapsulation of bioactive compounds in functional bread – a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54: 1435–1447. DOI: 10.1111/ijfs.13934.
2. Lemmens E., Moroni A. V., Pagand J., Heirbaut P., Ritala A., Karlen Y., Lê K., Van den Broeck H. C., Brouns F. J. P. H., De Brier N., Delcour J. A. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019; 18: 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414.
3. Finnie S., Brovelli V., Nelson D. Sprouted grains as a food ingredient. *Sprouted grains* / H. Feng, B. Nemzer, J. W. DeVries (Eds.). AACC International Press, 2019. Pp. 113–142. DOI: 10.1016/B978-0-12-811525-1.00006-3.
4. Naumenko N., Fatkullin R., Popova N., Ruskina A., Kalinina I., Morozov R., Avdin V.V., Antonova A., Vasileva E. Effect of a Combination of Ultrasonic Germination and Fermentation Processes on the Antioxidant Activity and γ -Aminobutyric Acid Content of Food Ingredients // *Fermentation*. 2023; 9: 246. DOI: 10.3390/fermentation9030246.
5. Perri G., Minisci A., Montemurro M., Pontonio E., Verni M., Rizzello C. G. Exploitation of sprouted barley grains and flour through sourdough fermentation. *LWT*. 2023; 187: 115326. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.115326.
6. Franco W., Evert K., Van Nieuwenhove, C. Quinoa Flour, the Germinated Grain Flour, and Sourdough as Alternative Sources for Gluten-Free Bread Formulation: Impact on Chemical, Textural and Sensorial Characteristics. *Fermentation*. 2021; 7: 115. DOI: 10.3390/fermentation7030115.
7. Sun Y., Mehmood A., Battino M., Xiao J., Chen X. Enrichment of gamma-aminobutyric acid in foods: From conventional methods to innovative technologies. *Food Research International*. 2022; 162 A: 111801. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111801.

8. RASFF – Food and Feed Safety Alerts [Internet]. [cited 2023 Nov 03]. Available from: http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/rasff_publications_en.htm.
9. Łątka K., Jończyk J., Bajda M. γ -Aminobutyric acid transporters as relevant biological target: Their function, structure, inhibitors and role in the therapy of different diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 158: 750–772.
10. Ding J., Johnson J., Chu Y. F., Feng H. Enhancement of γ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa L.*) treated with and without power ultrasound. *Food Chemistry*. 2019; 283: 239–247.
11. Zhang J., Deng H., Bai J., Zhou X., Zhao Y., Zhu Y., McClements D. J., Xiao X., Sun Q. Health-promoting properties of barley: A review of nutrient and nutraceutical composition, functionality, bioprocessing, and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. DOI: 10.1080/10408398.2021.1972926.
12. Sharma R., Mokhtari S., Jafari S.M., Sharma S. Barley-based probiotic food mixture: Health effects and future prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. DOI: 10.1080/10408398.2021.1921692.
13. AACC International Approved methods of analysis. 11th ed. [Internet]. St. Paul, MN, USA: AACC International, 2010 [cited 2023 Sep 10]. Available from: <https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/default.aspx>.
14. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum L.* by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106000 11.
15. Babaei-Ghaghelestany A., Alebrahim M. T., MacGregor D. R., Khatami S. A., Hasani Nasab Farzaneh R. Evaluation of ultrasound technology to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Food Science & Nutrition*. 2020; 8 (6): 2662–2669.
16. Madhu B., Srinivas M. S., Srinivas G., Jain S. Ultrasonic technology and its applications in quality control, processing and preservation of food: A review. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2019; 32 (5). DOI: 10.9734/CJAST/2019/46909.
17. Tiozon Jr. R. N., Camacho D. H., Bonto A. P., Oyong G. G., Sreenivasulu N. Efficient fortification of folic acid in rice through ultrasonic treatment and absorption. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127629.

Об авторах:

Наталья Владимировна Науменко, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-9520-3251, AuthorID 624622. *E-mail: naumenkonv@susu.ru*

Ринат Ильгидарович Фаткуллин, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-1498-0703, AuthorID 776685. *E-mail: fatkullinri@susu.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*

Ирина Валерьевна Калинина, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ORCID 0000-0002-6246-9870, AuthorID 220975

Authors' information:

Natalya V. Naumenko¹, doctor of technical sciences, associate professor, associate professor of the food and biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-9520-3251, AuthorID 624622. *E-mail: naumenkonv@susu.ru*

Rinat I. Fatkullin¹, candidate of technical sciences, associate professor of the food and biotechnology department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-1498-0703, AuthorID 776685. *E-mail: fatkullinri@susu.ru*

Olga P. Neverova², 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*

Irina V. Kalinina¹, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the food and biotechnology department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ORCID 0000-0002-6246-9870, AuthorID 220975

Подбор и оптимизация методов экстракции ДНК из листьев гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.)

А. Ф. Рябуха[✉], П. А. Кузьмин

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

[✉]E-mail: ryabuha-af@vifanc.ru

Аннотация. В настоящее время молекулярно-генетические методы с использованием ДНК-маркеров все шире используются в исследованиях полиморфизма различных популяций древесно-кустарниковых растений. **Целью** данной работы явились оценка и подбор протоколов выделения и очистки ДНК из листьев гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.) для дальнейших исследований с применением ДНК-маркирования. **Методы.** Для выделения ДНК из листовой пластинки гледичии трехколючковой использовали четыре протокола. В трех протоколах выделения для лизиса клеток использовали анионный детергент додецилсульфат натрия, для очистки от полисахаридов и белков ацетат калия. В четвертом протоколе для лизиса клеток использовали катионный сурфактант цетилтриметил бромид аммония, очистку экстракта проводили смесью хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1). Осаждение выделенной ДНК проводили изопропанолом, оценку качества – методом спектрофотометрии, горизонтального электрофореза и ПЦР Real-time с двумя типами праймеров. **Результаты.** Подобраны оптимальные условия экстракции ДНК из образцов гледичии трехколючковой, содержащей большое количество метаболитов, влияющих на качество выделенного экстракта. Методом электрофореза установлено, что и протокол выделения с додецилсульфатом натрия, и протокол выделения с цетилтриметил бромидом аммония позволяют получить достаточное количество ДНК. Наиболее очищенная ДНК была получена по третьему протоколу с использованием додецилсульфата натрия и дитиотреитола и по четвертому протоколу с использованием цетилтриметиламмония бромидом. Результаты ПЦР полученных образцов с праймерами ITS и psbI-psbK свидетельствуют о получении достаточного количества продукта и воспроизводимости ISSR-маркеров. **Научная новизна** работы состоит в выборе оптимального метода экстракции ДНК из листьев гледичии трехколючковой, являющейся сложным объектом, содержащим большое количество потенциальных ингибиторов ПЦР. Протокол с додецилсульфатом натрия и дитиотреитоном позволил получить ДНК в нужном количестве и приемлемого качества.

Ключевые слова: экстракция ДНК, цетилтриметиламмония бромид, додецилсульфат натрия, гледичия трехколючковая, молекулярные маркеры

Для цитирования: Рябуха А. Ф., Кузьмин П. А. Подбор и оптимизация методов экстракции ДНК из листьев гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 207–217. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-207-217>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания «Поиск селекционно-ценного генетического материала для создания новых генотипов древесно-кустарниковых пород методами молекулярной селекции» (№ FNFE-2022-0009).

Дата поступления статьи: 16.06.23, **дата рецензирования:** 19.09.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Selection and optimization of DNA extraction methods from the leaves of *Gleditsia triacanthos* L.

A. F. Ryabukha[✉], P. A. Kuzmin

Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

[✉]E-mail: ryabuha-af@vfanc.ru

Abstract. Currently, molecular genetic methods using DNA markers are increasingly used in studies of polymorphism of various populations of woody and shrubby plants. **The purpose** of this work was the evaluation and selection of protocols for the isolation and purification of DNA from the leaves of *Gleditsia triacanthos* L. for further studies using DNA labeling. **Methods.** Four protocols were used to isolate DNA from the leaf blade of *Gleditsia triacanthos* L. Anionic detergent sodium dodecyl sulfate was used in three isolation protocols for cell lysis, potassium acetate was used for purification from polysaccharides and proteins. In the fourth protocol, a cationic surfactant cetyltrimethyl ammonium bromide was used for cell lysis, the extract was purified with a mixture of chloroform-isoamyl alcohol (24 : 1). Precipitation of the isolated DNA was carried out with isopropanol. The quality of the isolated DNA was evaluated by spectrophotometry, horizontal electrophoresis and Real-time PCR with two types of primers. **Results.** Optimal conditions for DNA extraction from samples of *Gleditsia triacanthos* L. containing a large number of metabolites affecting the quality of the isolated extract were selected. By electrophoresis, it was found that both the isolation protocol with sodium dodecyl sulfate and the isolation protocol with cetyltrimethyl ammonium bromide make it possible to obtain a sufficient amount of DNA. The most purified DNA was obtained by the third protocol using sodium dodecyl sulfate and dithiothreitol and by the fourth protocol using cetyltrimethylammonium bromide. The results of PCR of the obtained samples with ITS and psbI-psbK primers indicate that a sufficient amount of product has been obtained and the reproducibility of ISSR markers. **The scientific novelty** of the work consists in choosing the optimal method of DNA extraction from the leaves of *Gleditsia triacanthos* L., which is a complex object containing a large number of potential PCR inhibitors. The protocol with sodium dodecyl sulfate and dithiothreitol made it possible to obtain DNA in the right amount and of acceptable quality.

Keywords: DNA extraction, CTAB, sodium dodecyl sulfate, *Gleditsia triacanthos*, molecular markers

For citation: Ryabukha A. F., Kuzmin P. A. Selection and optimization of DNA extraction methods from the leaves of *Gleditsia triacanthos* L. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (02): 207–217. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-207-217>. (In Russ.)

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the State assignment “Search for breeding-valuable genetic material for the creation of new genotypes of tree and shrub species using molecular breeding methods” (No. FNFE-2022-0009).

Date of paper submission: 16.06.23, **date of review:** 19.09.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время молекулярно-генетический анализ растений осуществляется с различными целями: создание устойчивых гетерозиготных популяций с учетом экологических особенностей, видоидентификация и филогенетика, определение пола растений, изучение и сохранение генетических ресурсов растений, исследование полиморфизмов в различных биотопических популяциях и др. [1; 2]. Путем ДНК-маркирования проводятся выявление ценных генотипов, мониторинг генетической изменчивости исследуемого вида, его адаптации к негативным факторам среды обитания [3]. Точное определение уровня генетического разнообразия может быть востребовано для изучения и сохранения редких и исчезающих видов, в селекционных

программах различного направления, в том числе для древесно-кустарниковых растений [4; 5].

Большой интерес для защитного лесоразведения в засушливых районах вызывает гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.), род гледичия (*Gleditsia*). Это листопадное дерево высотой до 45 м с крупными колючками на ветках, произрастающее на периодически затопляемых иллювиальных, дренированных почвах, выдерживает небольшое засоление почвенного слоя, отличается засухоустойчивостью и морозоустойчивостью. Гледичия трехколючковая признана перспективным видом для внедрения во вновь создаваемые барьерные зоны защитных лесных насаждений в степных и предгорных районах в связи с высокой засухоустойчивостью [6; 7].

Интерес к данному виду обусловлен также высоким содержанием биологически активных веществ: тритерпеновых сапонинов, комплекса пектинов, полисахаридов, фенольных соединений, аминокислот, что позволяет использовать полученные на его основе препараты в медицинской практике в качестве противоаллергических, противоопухолевых, противовоспалительных, антимикробных, противогрибковых, противовирусных, тонизирующих средств [8; 9].

Одним из необходимых условий проведения молекулярно-генетических исследований является работа с большим количеством образцов изолированной чистой ДНК. Несмотря на рутинность самой процедуры выделения и наличие протоколов экстракции ДНК из различных видов растений, решение проблемы получения чистой недеградированной ДНК из растительных объектов все еще остается определяющим первым этапом в любой сфере использования молекулярно-генетических подходов для изучения растительных организмов. Решающим в самой процедуре экстракции и очистки является правильный подбор условий, т. к. компоненты матрицы образцов различны для различных растений и могут сильно мешать выделению нуклеиновых кислот и/или последующему анализу. Возможно использование специализированных коммерческих наборов для выделения нуклеиновых кислот, однако они могут не подходить для конкретного вида растения и быть коммерчески недоступны для некоторых лабораторий, особенно при большом количестве анализов. Выбор определенного метода и/или коммерческого набора сильно зависит от оснащенности лаборатории, возможности работы с токсичными реагентами и квалификации персонала [10].

Первым и важнейшим этапом экстракции ДНК является лизис клеток, который может проводиться различными методами: механическим, химическим, термическим, ультразвуковым, ферментативным, электрическим или сочетать в себе несколько различных методов [11]. Часто молекулу ДНК экстрагируют из листовой пластинки. Однако ДНК можно извлечь из различных частей семян, проростков, камбия, почек и др. [12]. В зависимости от физико-химических свойств содержащихся в растениях первичных и вторичных метаболитов, во многом совпадающих со свойствами нуклеиновых кислот, выбирают подходящий метод экстракции и анализа ДНК. Для лизиса клеточной стенки и перевода ДНК в экстракционный раствор чаще всего используют детергенты додецилсульфат натрия и цетилтриметил бромид аммония (ЦТАБ) [13; 14]. Для осаждения белков и полисахаридов применяют меркаптоэтанол и дитиотреитол (ДТТ), для связывания полифенольных соединений – поливинилпирролидон (ПВП) [15; 16].

На следующем этапе происходит отделение нуклеиновых кислот от других веществ, содержащихся в клетке, и матрицы образца. При этом желательно получение максимально чистого целевого продукта с использованием по возможности малотоксичных реагентов. Важно также максимально избежать деградации образцов ДНК, которая может привести к неправильной спектрофотометрической оценке концентрации ДНК и ее завышению вследствие явления гиперхромизма. Кроме того, данные препараты в дальнейшем мало пригодны для работы по изучению и манипуляции с крупными фрагментами ДНК [17].

Третьим и последним этапом экстракции является очистка нуклеиновых кислот, т. е. удаление ингибиторов полимеразной цепной реакции (ПЦР) [18].

Согласно литературным данным, в листьях гледичии трехколючковой содержится значительное количество белков, полисахаридов и полифенолов, следовательно, актуальными являются подбор и оценка различных методов экстракции растительного материала, позволяющих получить очищенную ДНК с максимальным выходом для последующей оценки полиморфизма различных популяций гледичии трехколючковой. Также желательно, чтобы данный протокол выделения нуклеиновых кислот был оптимальным по стоимости, трудоемкости и продолжительности анализа.

Целью исследования явилось сравнение четырех протоколов выделения и очистки ДНК из листьев гледичии трехколючковой и выбор оптимального протокола для дальнейших исследований с применением ДНК-маркирования.

Методология и методы исследования (Methods)

ДНК выделяли из листьев гледичии трехколючковой, полученных от семян, выращенных в лабораторных условиях. Измельчение материала и экстракцию ДНК проводили на гомогенизаторе Precellys 24 (Франция).

Для изготовления экстракционных буферов использовали следующие реактивы: трис, чистота 99,5 % (Китай), трилон Б, ч. д. а. (Китай), натрий хлористый, ч. д. а. (ООО «ХлоренХима», Россия), поливинилпирролидон 10 000 (K15) (AppliChem), 2-меркаптоэтанол, степень чистоты $\geq 99\%$, (Германия), дитиотреитол, степень чистоты $> 99\%$ (Китай).

Для очистки гомогенатов применяли реактивы: натрий уксуснокислый, б/в, х. ч. (Китай), трихлорметан, х. ч. (АО «Экос-1», Россия), изоамиловый спирт, ч. д. а. (АО «Экос-1», Россия).

Для изготовления агарозных гелей использовали агарозу универсальную (LE) (ООО НПФ «ПанЭко», Россия). Для изготовления трис-ацетатного буфера использовали трис, трилон Б и уксусную кислоту ледяную, х. ч., чистота 99,8 % (АО «Экос-1»,

Россия). В качестве интеркалирующего агента для выявления нуклеиновых кислот добавляли раствор бромистого этидия (Индия).

Электрофорез проводили в камере для горизонтального электрофореза Bio-Rad (США).

Аmplификацию проводили на термоциклере Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США). Для проведения полимеразной цепной реакции использовали готовую смесь 5x qPCRmix-HS SYBR+LowROX буфер, праймеры ITS1 и ITS2, psbK и psbI («Евроген», Россия).

С целью получения ДНК с максимальным выходом и минимальным загрязнением образцов вторичными метаболитами апробировали четыре протокола экстракции и очистки ДНК (таблица 1). Протоколы 1–3 основаны на лизисе клеток с детергентом додецилсульфатом натрия, но отличались составом экстракционного буфера. В протоколах 1 и 2 в качестве восстановителя и антиоксиданта в составе экстракционного буфера использовали меркаптоэтанол, к которому в первом случае добавляли также ПВП для очистки от полифенольных соединений. В протоколе 3 в качестве восстановителя использовали дитиотреитол, который также способствует разрушению дисульфидных связей, предотвращая образование димеров «тиолированной» ДНК в растворе. Отличались также способы очистки экстрактов от вторичных метаболитов. В протоколах 1–3 для осаждения белков и полисахаридов использовали ацетат калия, в протоколе 4 гомогенат очищали смесью хлороформа с изоамиловым спиртом (таблица 1). Проверка качества выделенной ДНК проводилась методами спектрофотометрии и горизонтального электрофореза.

Концентрацию (нг/мкл) полученной ДНК определяли на спектрофотометре Spectrostar (Labtec) в кювете с объемом ячейки 50 мкл и толщиной поглощающего слоя 10 мм. Данный метод позволяет также сделать вывод о чистоте полученного экстракта. Максимум поглощения нуклеиновых кислот находится в области длины волны 260 нм, вещества полифенольной природы обычно поглощают свет в области 230 нм, белки – в области 280 нм, поэтому мы использовали соответствующие спектральные соотношения для оценки чистоты выделенной ДНК.

Оценку качества выделенной ДНК проводили методом горизонтального электрофореза, используя 2,5-процентный агарозный гель, буферный раствор на основе трис-ацетата при напряжении 50 В, время проведения анализа – 90 мин. Смесь для электрофореза включала в себя следующие компоненты: 3 мкл пробы и 1 мкл загрузочного буфера, который состоял из бромфенолового синего, ксиленианола и глицерина. В агарозный гель и раствор буфера перед началом электрофореза вносили бромистый этидий (0,003 %). Для идентификации размеров по-

лученных полос ДНК использовали маркер, имеющий молекулярную массу 250 + bp (DNA Ladder).

Для оценки качества выделенной ДНК использовали метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени (PCR-real time). В основе метода лежит принцип флуоресцентной детекции продуктов ПЦР непосредственно в ходе амплификации. Основными преимуществами данного метода являются быстрое обнаружение и количественное определение целевых последовательностей ДНК в различных матрицах, широкий динамический диапазон для количественного определения.

Аmplификацию проводили в присутствии красителя ROX. Использовали два типа праймеров:

1. Ядерные последовательности ITS, применяемые для определения межгенных спейсеров ITS1 и ITS2 (некодирующие последовательности ДНК, расположенные как внутри, так и между кластерами генов). Данные праймеры удобны для ПЦР-анализа и секвенирования и присутствуют у всех групп живых организмов. У покрытосеменных протяженность составляет 500–700 п. о.

Прямой праймер ITS1 – TCCGTAGGTGAACCTGCGG.

Обратный праймер ITS2 – TCCTCCGCTTATTGATATGC.

Выбор данных участков связан с присутствием в них нуклеотидных вставок и делеций (удалений), что является удобным для исследований различий внутри близкородственных организмов.

2. Хлоропластные маркеры psbK и psbI, являющиеся продуктами секвенирования межгенного спейсера, широко используются с различными целями в молекулярно-генетических исследованиях [19].

Данный фрагмент амплифицируется с помощью праймеров:

psbK – TTAGCCTTTGTTTGGCAAG.

psbI – AGAGTTTGAGAGTAAGCAT.

Смешивали в пробирке на 0,2 мл следующие компоненты: деионизированная вода – 14 мкл, прямой праймер – 2 мкл (из раствора с концентрацией праймера 10 мкМ), обратный праймер – 2 мкл (из раствора с концентрацией праймера 10 мкМ), 5x qPCRmix-HS SYBR + LowROX буфер – 5 мкл, ДНК-матрица – 2 мкл, общий объем смеси – 25 мкл.

Для праймеров ITS реакционную смесь нагревали при температуре 95 °С 10 минут, затем повторяли 40 циклов амплификации: 30с при 95 °С, 1 мин. при 56 °С, 1 мин. при 72 °С, элонгация 10 мин. при 72 °С.

Для праймеров psbK и psbI реакционную смесь нагревали при температуре 95 °С 5 мин., затем повторяли 40 циклов амплификации: 30 с при 95 °С, 1 мин. при 50 °С, 1 мин. при 68 °С, элонгация 10 мин. при 68 °С.

Таблица 1
Основные этапы протоколов выделения ДНК

Этап получения ДНК	Протокол 1	Протокол 2	Протокол 3	Протокол 4
Гомогенизация	Измельчение 100 мг листовой пластинки в 0,8 мл буфера состава: 100 mM трис-НСl, 50 mM ЭДТА, и 500 mM NaCl (рН 8,0), 2 % ПВП 10 000, 0,2 % (об/об) 2-меркаптоэтанола (добавляется непосредственно перед экстракцией)	Измельчение 100 мг листовой пластинки в буфере состава: 100 mM трис-НСl, 50 mM ЭДТА, и 500 mM NaCl (рН 8,0), 2 % ПВП 10 000, 0,2 % (об/об) 2-меркаптоэтанола (добавляется непосредственно перед экстракцией)	Измельчение 100 мг листовой пластинки в 0,8 мл буфера состава: 100 mM трис-НСl, 50 mM ЭДТА, и 1,4 M NaCl (рН 8,0), 2 % ПВП 10 000, 2 % PVP 10 000, 2 % 2-меркаптоэтанола (добавляется непосредственно перед экстракцией)	Измельчение 100 мг листовой пластинки в 0,8 мл подогретого до 65 °С буфера состава: 2 % ЦТАБ, 1,4 M NaCl, 0,1 M трис-НСl, рН 8,0, 20 mM ЭДТА, 2 % ПВП 10 000, 2 % 2-меркаптоэтанола (добавляется непосредственно перед экстракцией)
Экстракция и лизис клеток	Добавление к гомогенату 100 мкл 20 % додецилсульфата натрия, инкубирование в твердотельном термостате при 65 °С 15 мин. Пробу осторожно перемешивают, избегая встряхивания, т. к. буфер пенится и ДНК фрагментируется	20 % додецилсульфата натрия, инкубирование в твердотельном термостате при 65 °С 15 мин. Пробу осторожно перемешивают, избегая встряхивания, т. к. буфер пенится и ДНК фрагментируется	Добавление к гомогенату 100 мкл 20 % додецилсульфата натрия, инкубирование в твердотельном термостате при 65 °С 30 мин. при периодическом перемешивании, без встряхивания	Выдерживание гомогената в твердотельном термостате при 65 °С 30 мин. при периодическом перемешивании, без встряхивания
Очистка от метаболитов (белков, полисахаридов, полифенолов)	Добавление 225 мкл 2M ацетата калия, осторожное перемешивание, выдерживание при 4 °С 15 мин., центрифугирование при 12 000 g в течение 10 мин. при комнатной температуре. Отбирают 600–700 мкл надосадочной жидкости	Добавление 225 мкл 2M ацетата калия, осторожное перемешивание, выдерживание при 4 °С 15 мин., центрифугирование при 12 000 g в течение 10 мин. при комнатной температуре. Отбирают 600–700 мкл надосадочной жидкости	Добавление смеси хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1), перемешивание 20 мин., центрифугирование при 12 000 g, 15 мин.	Добавление смеси хлороформа и изоамилового спирта (24 : 1), перемешивание 20 мин., центрифугирование при 12 000 g, 15 мин.
Получение ДНК	Добавление к надосадочной жидкости равного объема холодного 99 % изопропанола, выдерживание в холодилнике 1 ч, отделение ДНК центрифугированием после двойного промывания осадка 70 % спиртом, удаление спирта при нагревании 10 мин. до 45 °С, растворение ДНК в 100 мкл ТЕ-буфера. Полученную ДНК хранить при –20 °С для последующего анализа	Добавление к надосадочной жидкости равного объема холодного 99 % изопропанола, выдерживание в холодилнике 1 ч, отделение ДНК центрифугированием после двойного промывания осадка 70 % спиртом, удаление спирта при нагревании 10 мин. до 45 °С, растворение ДНК в 100 мкл ТЕ-буфера. Полученную ДНК хранить при –20 °С для последующего анализа	Добавление к надосадочной жидкости равного объема холодного 99 % изопропанола, выдерживание в холодилнике 1 ч, отделение ДНК центрифугированием после двойного промывания осадка 70 % спиртом, удаление спирта при нагревании 10 мин. до 45 °С, растворение ДНК в 100 мкл ТЕ-буфера. Полученную ДНК хранить при –20 °С для последующего анализа	Добавление к надосадочной жидкости равного объема холодного 99 % изопропанола, выдерживание в холодилнике 1 ч, отделение ДНК центрифугированием после двойного промывания осадка 70 % спиртом, удаление спирта при нагревании 10 мин. до 45 °С, растворение ДНК в 100 мкл ТЕ-буфера. Полученную ДНК хранить при –20 °С для последующего анализа

Table 1
The main stages of DNA isolation protocols

The stage of obtaining DNA	Protocol 1	Protocol 2	Protocol 3	Protocol 4
Homogenization	Grinding of 100 mg of leaf blade in 0.8 ml of buffer composition: 100 mM tris-HCl, 50 mM EDTA, and 500 mM NaCl (pH 8.0), 2 % PVP 10 000, 0.2 % (by volume) 2-mercaptoethanol (added immediately before extraction)	Grinding of 100 mg of a leaf blade in 0.8 ml of a buffer composition heated to 65 °C: 2 % TAB, 1.4 M NaCl, 0.1 M Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM EDTA, 2 % PVP 10 000, 2 % 2-mercaptoethanol (added immediately before extraction)	Grinding of 100 mg of a leaf blade in 0.8 ml of a buffer composition heated to 65 °C: 2 % TAB, 1.4 M NaCl, 0.1 M Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM EDTA, 2 % PVP 10 000, 2 % 2-mercaptoethanol (added immediately before extraction)	Grinding of 100 mg of a leaf blade in 0.8 ml of a buffer composition heated to 65 °C: 2 % TAB, 1.4 M NaCl, 0.1 M Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM EDTA, 2 % PVP 10 000, 2 % 2-mercaptoethanol (added immediately before extraction)
Extraction and lysis of cells	Addition of 20 % sodium dodecyl sulfate to 100 µl homogenate, incubation in a solid-state thermostat at 65 °C for 15 min. The sample is carefully mixed, avoiding shaking, because the buffer foams and DNA fragments	Addition of 20 % sodium dodecyl sulfate to 100 µl homogenate, incubation in a solid-state thermostat at 65 °C for 15 min. The sample is carefully mixed, avoiding shaking, because the buffer foams and DNA fragments	Keeping the homogenate in a solid-state thermostat at 65 °C for 30 min., stirring periodically, without shaking.	Keeping the homogenate in a solid-state thermostat at 65 °C for 30 min., stirring periodically, without shaking.
Purification from metabolites (proteins, polysaccharides, polyphenols)	Addition of 225 µl 2M potassium acetate, careful stirring, holding at 4 °C for 15 min., centrifugation at 12 000 g for 10 min. at room temperature. 600–700 µl of the supernatant fluid is taken	Addition of 225 µl 2M potassium acetate, careful stirring, holding at 4 °C for 15 min., centrifugation at 12 000 g for 10 min. at room temperature. 600–700 µl of the supernatant fluid is taken	Addition of a mixture of chloroform-isoamyl alcohol (24 : 1), stirring for 20 min., centrifugation at 12000 g, 15 min.	Addition of a mixture of chloroform-isoamyl alcohol (24 : 1), stirring for 20 min., centrifugation at 12000 g, 15 min.
Obtaining DNA	Addition of an equal volume of cold 99 % isopropanol to the filler liquid, refrigerating for 1 hour, separating DNA by centrifugation, washing the sediment twice with 70 % alcohol, removing alcohol when heated for 10 min. to 45 °C, dissolving DNA in 100 ml of TE buffer. The resulting DNA should be stored at –20 °C for subsequent analysis	Addition of an equal volume of cold 99 % isopropanol to the filler liquid, refrigerating for 1 hour, separating DNA by centrifugation, washing the sediment twice with 70 % alcohol, removing alcohol when heated for 10 min. to 45 °C, dissolving DNA in 100 ml of TE buffer. The resulting DNA should be stored at –20 °C for subsequent analysis	Addition of an equal volume of cold 99 % isopropanol to the filler liquid, refrigerating for 1 hour, separating DNA by centrifugation, washing the sediment twice with 70 % alcohol, removing alcohol when heated for 10 min. to 45 °C, dissolving DNA in 100 ml of TE buffer. The resulting DNA should be stored at –20 °C for subsequent analysis	Addition of an equal volume of cold 99 % isopropanol to the filler liquid, refrigerating for 1 hour, separating DNA by centrifugation, washing the sediment twice with 70 % alcohol, removing alcohol when heated for 10 min. to 45 °C, dissolving DNA in 100 ml of TE buffer. The resulting DNA should be stored at –20 °C for subsequent analysis

Biology and biotechnologies

Полученные ампликоны разделяли методом горизонтального электрофореза в 2-процентном агарозном геле, в трис-ацетатном буфере при напряженности электрического поля 75 В в течение 60 мин.

Визуализацию результатов электрофореза проводили в гель-документирующей системе (Invitrogen iBright, США), в проходящем ультрафиолетовом свете после связывания фрагментов ДНК с бромистым этидием.

Результаты (Results)

В результате мы применили и сравнили несколько протоколов экстракции и очистки ДНК с анионным детергентом додецилсульфатом натрия и катионным сурфактантом цетилтриметил аммония бромидом и оценили качество выделенной ДНК. Средние концентрации образцов ($n = 6$) и спектральные соотношения $\lambda_{260} / \lambda_{280}$, характеризующие степень очистки ДНК от белков, и $\lambda_{260} / \lambda_{235}$, характеризующие степень очистки от полифенольных соединений, представлены в таблице 2.

На рис. 1 представлен спектр поглощения для образцов, полученных по четвертому протоколу со ЦТАБ (А) и третьему протоколу с додецилсульфатом натрия (Б). Видно, что оба образца имеют четко выраженный максимум при 260 нм, однако для метода со ЦТАБ характерна меньшая степень очистки образца от белков и полифенолов.

Для определения степени деградации молекул в полученных экстрактах был проведен горизонтальный электрофорез в агарозном геле, полученные электрофореграммы представлены на рис. 2.

В результате проведения ПЦР в реальном времени с праймером ITS показана амплифицируемость или неамплифицируемость выделенных образцов ДНК на основании величины порогового цикла амплификации C_t . Результаты реакции ПЦР представлены на рис. 2.

Для визуализации продуктов ПЦР, полученных по третьему протоколу, был проведен горизонтальный электрофорез в 2-процентном агарозном геле с бромистым этидием (0,003 %), электрофореграмма представлена на рис.4, а.

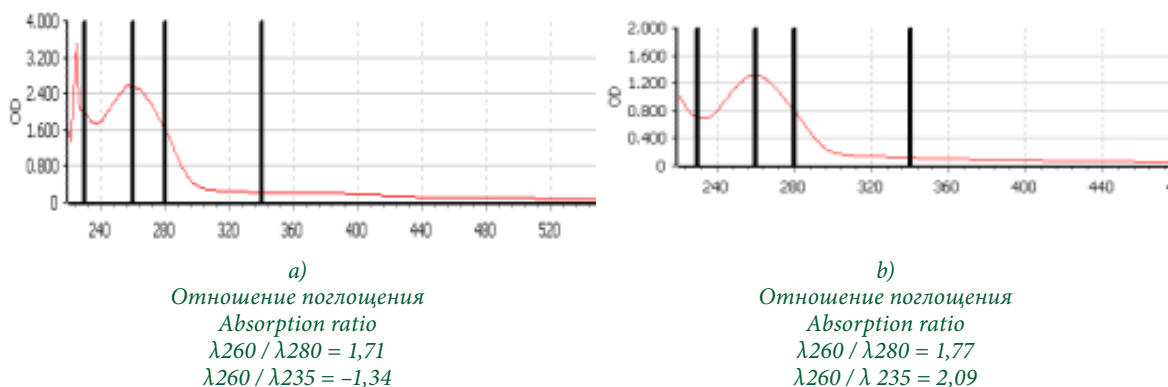
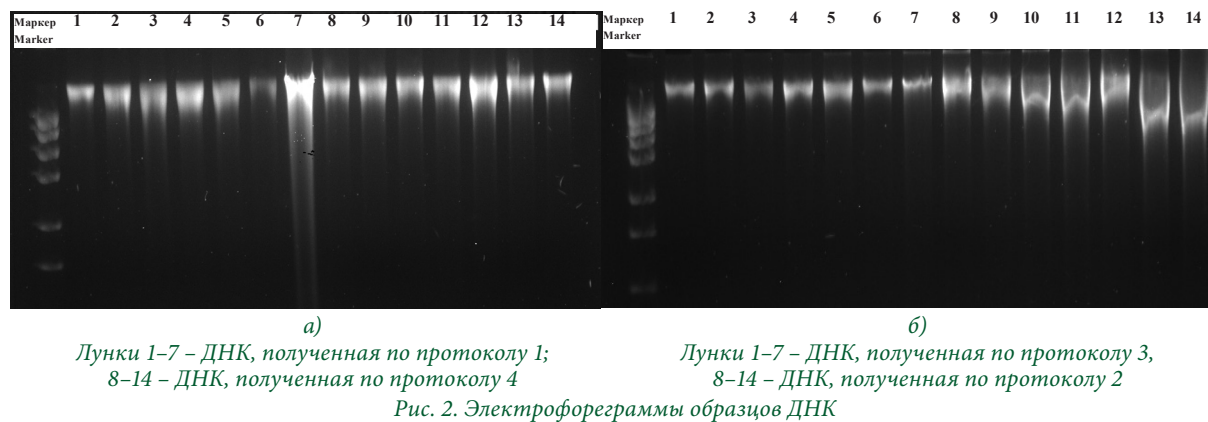


Рис. 1. Спектры поглощения для препаратов ДНК, полученных по протоколу со ЦТАБ (а) и додецилсульфатом натрия (б). По оси абсцисс длина волны, нм. По оси ординат поглощение, ед.
Fig. 1. Absorption spectra for DNA preparations obtained according to the protocol with CTAB (a) and sodium dodecyl sulfate (b). Along the abscissa axis, the wavelength, nm. On the ordinate axis, absorption, units



a) *Wells 1–7 – DNA obtained according to protocol 1;*
8–14 – DNA obtained according to protocol 4

b) *Wells 1–7 – DNA obtained according to protocol 3;*
8–14 – DNA obtained according to protocol 2

Fig. 2. Electrophoretograms of DNA samples

Таблица 2
Концентрация и спектральные соотношения образцов ДНК

Спектрофотометрические характеристики образцов ДНК	Протокол 1	Протокол 2	Протокол 3	Протокол 4
Концентрация, нг/мкл	76,14 ± 20,38	289,17 ± 37,68	86,62 ± 29,4	108,3 ± 37,46
Соотношение $\lambda 260 / \lambda 280$	1,42 ± 0,07	1,53 ± 0,03	1,75 ± 0,03	1,70 ± 0,05
Соотношение $\lambda 260 / \lambda 235$	0,97 ± 0,06	1,56 ± 0,14	1,7 ± 0,21	1,70 ± 0,21

Table 2
Concentration and spectral ratios of DNA samples

Spectrophotometric characteristics of DNA samples	Protocol 1	Protocol 2	Protocol 3	Protocol 4
Concentration, ng/ml	76.14 ± 20.38	289.17 ± 37.68	86.62 ± 29.4	108.3 ± 37.46
Ratio $\lambda 260 / \lambda 280$	1.42 ± 0.07	1.53 ± 0.03	1.75 ± 0.03	1.70 ± 0.05
Ratio $\lambda 260 / \lambda 235$	0.97 ± 0.06	1.56 ± 0.14	1.7 ± 0.21	1.70 ± 0.21

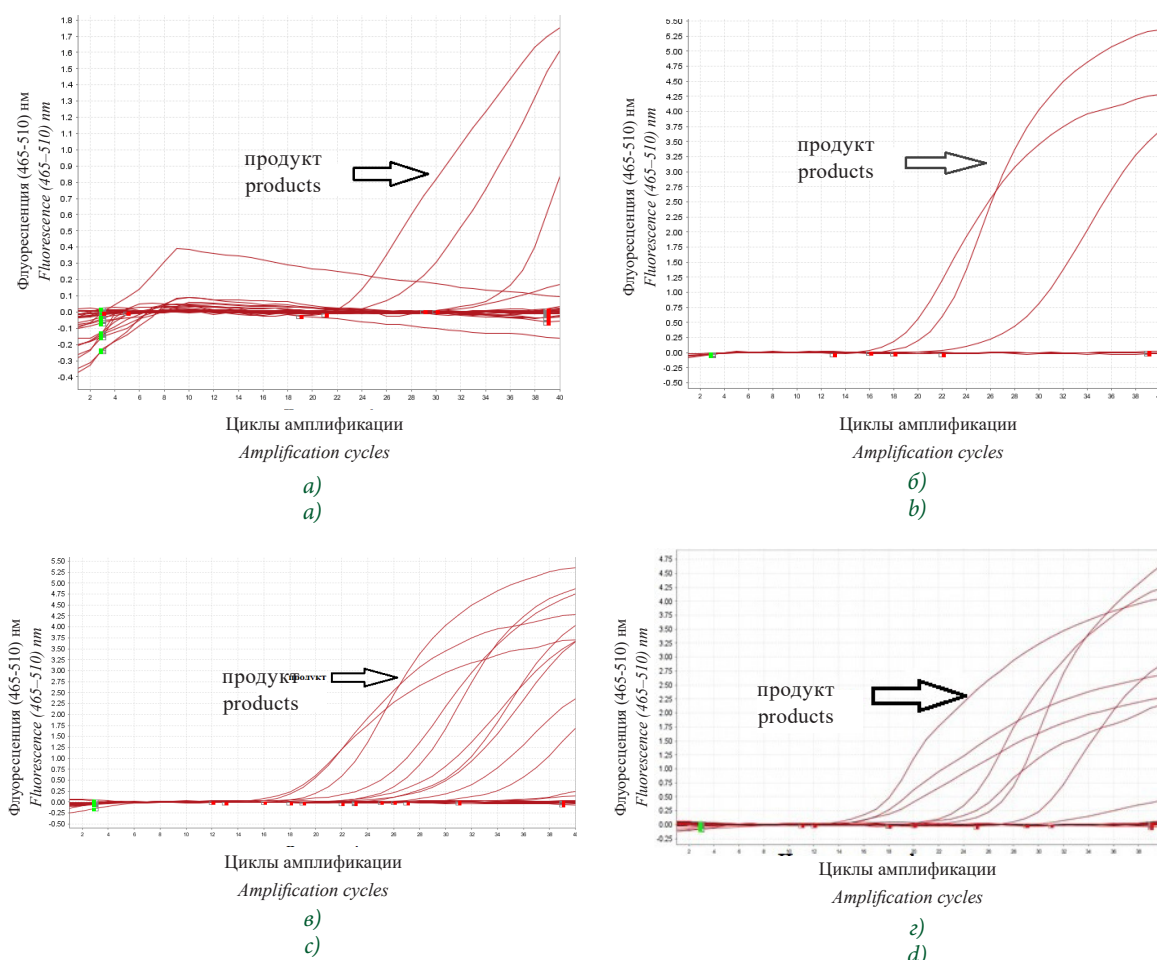


Рис. 3. Кривые амплификации ITS последовательности с использованием ДНК. По оси абсцисс – число циклов амплификации, по оси ординат – интенсивность флуоресценции. а) продукты амплификации ДНК, выделенной по протоколу 1, б) по протоколу 2, в) по протоколу 3, г) по протоколу 4

Fig. 3. ITS sequence amplification curves using DNA. On the abscissa axis is the number of amplification cycles, on the ordinate axis is the fluorescence intensity.

a) products of DNA amplification isolated according to the protocol 1, b) according to the protocol 2, c) according to the protocol 3, d) according to the protocol 4

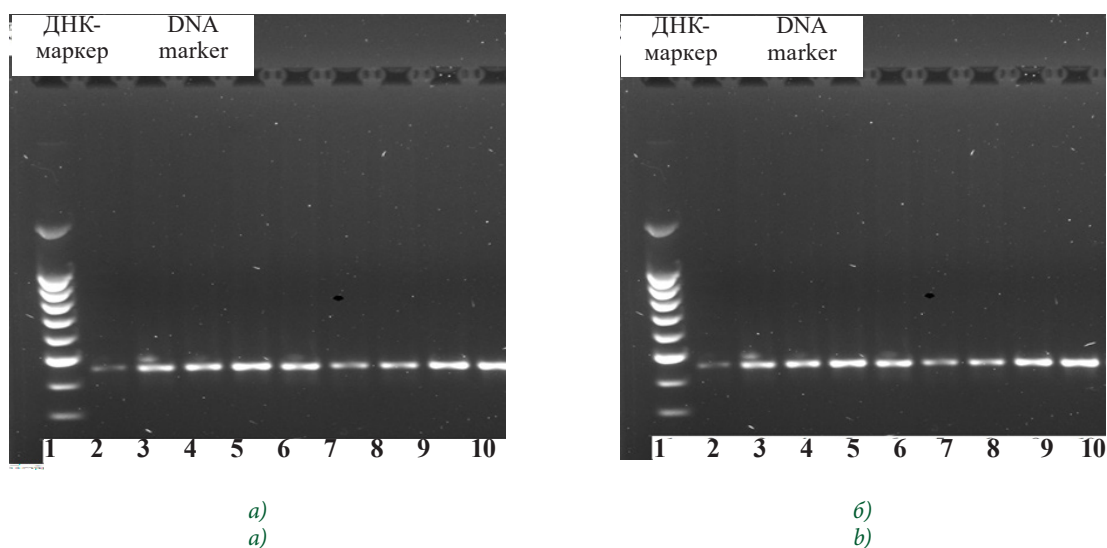


Рис. 4. Электрофореграмма продуктов ПЦР ДНК, полученной по третьему протоколу с праймером ITS (а), и с праймерами psbK-psbI (б). Лунка 1 – ДНК-маркер 250 + bp, лунки 2–10 – пробы ДНК
 Fig. 4. Electrophoregram of DNA PCR products obtained using the third protocol with ITS primer (a) and with psbK-psbI primers (b). Well 1 is a DNA marker 250 + bp, wells 2–10 are DNA samples

Также мы провели реакцию ПЦР ДНК, полученной по третьему протоколу, с праймерами psbK-psbI и разделили полученный продукт методом горизонтального электрофореза в 2-процентном агарозном геле с бромистым этидием (0,003 %), электрофореграмма представлена на рис. 4, б.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Как видно из представленных в таблице 2 данных, среднее значение концентрации ДНК по всем четырем протоколам достаточно высокое, но экстракты, полученные по первому и второму протоколу, были загрязнены примесями, о чем свидетельствовали низкие значения соотношений поглощения при $\lambda 260 / \lambda 280$ и $\lambda 260 / \lambda 235$. У ДНК, полученной по первому протоколу, в некоторых образцах отсутствовал четко выраженный максимум при длине волны 260 нм, следовательно, низкая концентрация меркаптоэтанола в экстракционном буфере не позволяет полностью очистить экстракт, особенно от белков и веществ полифенольной природы. При отсутствии в экстракционном буфере ПВП (второй протокол) среднее значение концентрации было высоким, но экстракты также были загрязненными, соотношения поглощений при $\lambda 260 / \lambda 280$ и $\lambda 260 / \lambda 235$ были менее 1,6, что свидетельствует о загрязнении экстракта ДНК белками и полифенолами. При выделении ДНК по третьему и четвертому протоколам очистка проб от белков и полифенолов была выше, о чем свидетельствуют спектры поглощения образцов и спектральные соотношения $\lambda 260 / \lambda 280$ и $\lambda 260 / \lambda 235$ (рис. 1, таблица 2).

Качественные и количественные показатели выделенной ДНК оценивали также методом горизонтального электрофореза. Высокомолекулярная геномная ДНК обычно выглядит в геле как четкая

полоса, расположенная очень высоко, недалеко от места нанесения на дорожку. Примеси РНК и деградированной ДНК выглядят как шмер, расположенный ниже. Как видно из представленных на рис. 2 данных, количество ДНК, полученной по протоколам 1 и 4, достаточно высокое, но шмер на электрофореграмме говорит о ее частичной деградации (рис. 2, а). На электрофореграмме образцов гледичии, полученных по протоколу 3, видно, что ДНК светится в виде довольно компактной полосы, расположенной ближе к лунке, что говорит о ее малой фрагментации и более высокой чистоте по сравнению с образцами, полученными по другим протоколам (рис. 2, б, лунки 1–7). Свечение рядом с лункой у образцов, полученных протоколом 2, указывает на наличие тяжелых фракций ДНК, также в ней присутствует значительное количество примесей (рис. 2, б, лунки 8–14).

В результате проведения ПЦР с использованием в качестве матрицы ДНК, выделенной по протоколу с додецилсульфатом натрия и дитиотреитолом, в большинстве случаев наблюдалось достаточное количество продукта и хорошая воспроизводимость ISSR-маркеров, что свидетельствует об удалении ингибиторов ПЦР. При выделении ДНК ЦТАБ-методом реакция ПЦР проходила, но ПЦР-продукта было меньше (рис. 3).

Таким образом, в процессе работы с *Gleditsia triacanthos* L. установлено, что в листьях растения содержится значительное количество первичных и вторичных метаболитов, которые могут загрязнять образец ДНК в процессе проведения молекулярно-генетического анализа. При использовании буфера экстракции без ПВП и с низким содержанием меркаптоэтанола не удалось добиться получения

чистой ДНК. Протокол с использованием цетилтриметиламмония бромиды позволяет получить достаточное количество ДНК, но ее качество несколько ниже в сравнении с ДНК, полученной по третьему протоколу. Тщательной очистки экстракта ДНК из листьев растений гледичии трехколючковой от ингибирующих веществ удалось добиться,

используя для выделения протокол с додецилсульфатом натрия и дитиотреитолом. Пригодность образцов ДНК, полученных по данному протоколу, к дальнейшему молекулярно-генетическому анализу, подтверждена ПЦР с двумя праймерами – ITS и psbK-psbI.

Библиографический список

1. Кулаков Е. А., Воробьева Е. А., Сиволапов В. А., Карпеченко Н. А. Оценка полиморфизма дуба черешчатого (*Quercus robur*) с помощью SSR-анализа // Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 4. С. 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-44-51.
2. Тараканов В. В., Паленова М. М., Паркина О. В., Роговцев Р. В., Третьякова Р. А. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) // Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 100–143. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.09.
3. Камнев А. М., Антонова О. Ю., Дунаева С. Е., Гавриленко Т. А., Чухина И. Г. Молекулярные маркеры в исследованиях генетического разнообразия представителей рода *Rubus* L. и перспективы их применения в селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 1. С. 20–30. DOI: 10.18699/VJ20.591.
4. Younis A., Ramzan F., Ramzan Y. et al. Molecular Markers Improve Abiotic Stress Tolerance in Crops: A Review // Plants. 2020. No. 9 (10). DOI: 10.3390/plants9101374.
5. Li A., Ma M., Li H., He S., Wang S. Genetic Diversity and Population Differentiation of a Chinese Endangered Plant *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f. // Genes. Vol. 14. No. 5. Article number 1020. DOI: 10.3390/genes14051020.
6. Корниенко В. О., Калаев В. Н. Эколого-морфологические и биомеханические особенности *Gleditsia triacanthos* L. в условиях антропогенного загрязнения города Донецка // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 143–151.
7. Адамова Р. М., Казиев М.-Р. А. Эколого-биологические аспекты формирования защитных лесных насаждений в аридных районах // Аридные экосистемы. 2021. № 2 (87). С. 26–32. DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10147.
8. Li J., Ye C. Genome-wide analysis of microsatellite and sex-linked marker identification in *Gleditsia sinensis* // BMC Plant Biology. 2020. Vol. 20 (1). Article number 338. DOI: 10.1186/s12870-020-02551-9.
9. Сальникова Н. А., Самотруева М. А., Коновалов Д. А. Химический состав и фармакологические свойства растений рода *Gleditsia* L. (обзор литературы) // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2019. № 3. С. 87–96. DOI: 10.21626/vestnik/2019-3/12.
10. Inglis P. W., Pappas M. R., Resende L. V., Grattapaglia D. Fast and inexpensive protocols for consistent extraction of high quality DNA and RNA from challenging plant and fungal samples for highthroughput SNP genotyping and sequencing applications Plant Genetics Laboratory // PLOS ONE. 2018. Vol. 13. No. 10. Article number e0206085. DOI: 10.1371/journal.pone.0206085.
11. Islam M. S., Aryasomayajula A., Selvaganapathy P. R. A review on macroscale and microscale cell lysis methods // Micromachines. 2017. Vol. 8. Iss. 3. Article number 83. DOI: 10.3390/mi8030083.
12. Попова А. А., Гродецкая Т. А., Молчанов В. В., Евлаков Р. М. Подбор и оптимизация методов экстракции ДНК из различного растительного материала // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 1 (53). С. 69–76. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.1.69.
13. Ильницкая Е. Т., Макаркина М. В., Токмаков С. В., Наумова Л. Г. ДНК-маркерная идентификация локуса устойчивости к милдью Rpv10 в генотипах винограда // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. № 2 (27). С. 129–134. DOI: 10.18699/VJGB-23-18.
14. Barbier F. F., Chabikwa T. G., Ahsan M. U. et al. A phenol/chloroform-free method to extract nucleic acids from recalcitrant, woody tropical species for gene expression and sequencing // Plant Methods. 2019. No. 15. Pp. 62–74. DOI: 10.1186/s13007-019-0447-3.
15. Ahmadi E., Kowsari M., Azadfar D., Jouzani G.S. Rapid and economical protocols for genomic and metagenomic DNA extraction from oak (*Quercus brantii* Lindl.) // Annals of Forest Science. 2018. Vol. 75. Article number 43. DOI: 10.1007/s13595-018-0705-y.
16. Петров Д. Г., Макарова Е. Д., Гермаш Н. Н., Антифеев И. Е. Методы выделения и очистки ДНК из лизатов клеток (обзор) // Научное приборостроение. 2019. Т. 29. № 4. С. 28–50.
17. Гучетль С. З., Золотавина М. Л., Григорьян А. А., Головатская А. В. Исследование качества ДНК для полимеразной цепной реакции, экстрагированной разными способами из подсолнечника // Масличные культуры. 2021. Вып. 1 (185). С. 32–42. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-1-185-32-42.

18. Pencakowski B. M., Tokarski M., Jonkisz A., Czosnykowska-Łukacka M., Lenard E., Małodobra-Mazur M., Pencakowski B. M. et al. DNA profiling of oaks (*Quercus* spp.) // *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*. 2018. Vol. 68. No. 1. DOI: 10.5114/amsik.2018.75942.

19. Zhang Y., Song M., Li H., Sun H., Zhang Z. DNA barcoding identification of original plants of a rare medicinal material *Resina Draconis* and related *Dracaena* species // *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 2021. Vol. 46, No. 9. Pp. 2173–2181. DOI: 10.19540/j.cnki.cjcm.20210124.104.

Об авторах:

Анна Федоровна Рябуха, кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0001-7659-0252, AuthorID 642665. E-mail: ryabuha-af@yfac.ru

Петр Анатольевич Кузьмин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего лабораторией молекулярной селекции, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0002-1303-765X, AuthorID 680974

References

1. Kulakov E. E., Vorob'eva E. A., Sivolapov V. A., Karpechenko N. A. Petiolate Oak (*Quercus robur*) polymorphism evaluation by SSR-analyzing. *Forestry Bulletin*. 2021; 25 (4): 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-44-51. (In Russ.)

2. Tarakanov V. V., Palenova M. M., Parkina O. V., Rogovtsev R. V., Tret'yakova R. A. Forest Selective Breeding in Russia: Achievements, Challenges, Priorities (Overnien). *Forestry information*. 2021; 1: 100–143. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.09. (In Russ.)

3. Kamnev A. M., Antonova O. Yu., Dunaeva S.E., Gavrilenko T.A., Chuxina I.G. Molecular markers in the genetic diversity studies of representatives of the genus *Rubus* L. and prospects of their application in breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24 (1): 20–30. DOI: 10.18699/VJ20.591.4. (In Russ.)

4. Younis A., Ramzan F., Ramzan Y. et al. Molecular Markers Improve Abiotic Stress Tolerance in Crops: A Review. *Plants*. 2020; 9 (10). DOI: 10.3390/plants9101374.

5. Li A., Ma M., Li H., He S., Wang S. Genetic Diversity and Population Differentiation of a Chinese Endangered Plant *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f. *Genes*; 14 (5): 1020. DOI: 10.3390/genes14051020.

6. Kornienko V. O., Kalaev V. N. Ecological, morphological and biomechanical characteristics of *Gleditsia triacanthos* l. in the conditions of anthropogenic pollution of the city of Donetsk. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2018; 2: 143–151. (In Russ.)

7. Adamova R. M., Kaziev M.-R. A. Ecological and biological aspects of the formation of protective forest plantations in arid areas. *Arid ecosystems*. 2021; 2 (87): 26–32. DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10147. (In Russ.)

8. Li Jianjun, Ye Chenglin. Genome-wide analysis of microsatellite and sex-linked marker identification in *Gleditsia sinensis*. *BMC Plant Biol.* 2020. 20 (1): 338. DOI: 10.1186/s12870-020-02551-9.

9. Sal'nikova N. A., Samotrueva M. A., Kononov D. A. The chemical composition and pharmacological properties of plants of *Gleditsia* l. (literature review). *Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health"*. 2019; 3: 87–96. DOI: 10.21626/vestnik/2019-3/12. (In Russ.)

10. Inglis P. W., Pappas M. R., Resende L. V., Grattapaglia D. Fast and inexpensive protocols for consistent extraction of high quality DNA and RNA from challenging plant and fungal samples for highthroughput SNP genotyping and sequencing applications Plant Genetics Laboratory. *PLOS ONE*. 2018. 18; 13 (10). DOI: 10.1371/journal.pone.0206085.

11. Islam M.S., Aryasomayajula A., Selvaganapathy P.R. A review on macroscale and microscale cell lysis methods. *Micromachines*. 2017; 8 (3): 83. DOI: 10.3390/mi8030083.

12. Popova A. A., Grodetskaya T. A., Molchanov V. V., Evlakov P. M. Selection and optimization of DNA extraction methods from various plant materials. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest Ecology. Nature Management*. 2022; 1 (53): 69–76. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.1.69. (In Russ.)

13. Il'nitskaya E. T., Makarkina M. V., Tokmakov S. V., Naumova L. G. DNA marker identification of downy mildew resistance locus *Rpv10* in grapevine genotypes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023; 2 (27): 129–134. DOI: 10.18699/VJGB-23-18. (In Russ.)

14. Barbier F.F., Chabikwa T.G., Ahsan M.U. et al. A phenol/chloroform-free method to extract nucleic acids from recalcitrant, woody tropical species for gene expression and sequencing. *Plant Methods*. 2019; 15: 62. DOI: 10.1186/s13007-019-0447-3.

15. Ahmadi E., Kowsari M., Azadfar D., Jouzani G. S. Rapid and economical protocols for genomic and metagenomic DNA extraction from oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Annals of Forest Science*. 2018; 75: 43. DOI: 10.1007/s13595-018-0705-y.
16. Petrov D. G., Makarova E. D., Germash N. N., Antifeev I. E. Methods for isolation and purification of DNA from cell lysates (review). *Nauchnoe priborostroenie*. 2019; 29 (4): 28–50. (In Russ.)
17. Guchetl' S. Z., Zolotavina M. L., Grigor'yan A. A., Golovatskaya A. V. Quality of DNA for PCR extracted from sunflower with different methods. *Maslichnye kul'tury*. 2021; 1 (185): 32–42. DOI: 10.25230/2412–608X–2021–1–185–32–42. (In Russ.)
18. Pencakowski B. M., Tokarski M., Jonkisz A., Czosnykowska-Łukacka M., Lenard E., Małodobra-Mazur M., Pencakowski B. M. et al. DNA profiling of oaks (*Quercus* spp.) *Arch Med Sadowej Kryminol*. 2018. 68 (1): 1–9. DOI: 10.5114/amsik.2018.75942.
19. Zhang Y., Song M., Li H. , Sun H. , Zhang Z. DNA barcoding identification of original plants of a rare medicinal material *Resina Draconis* and related *Dracaena* species. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 2021; 46 (9): 2173–2181. DOI 10.19540/j.cnki.cjcm.20210124.104. (In Chin.)

Authors' information:

Anna F. Ryabukha, candidate of pharmaceutical sciences, leading researcher at the laboratory of molecular breeding, Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0001-7659-0252, AuthorID 642665.

E-mail: ryabuha-af@vfanc.ru

Petr A. Kuzmin, candidate of agricultural sciences, leading researcher, acting head of laboratory of molecular breeding, Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0002-1303-765X, AuthorID 680-974

Использование геномной оценки в совершенствовании продуктивных качеств коров голштинской породы

В. О. Цыганок, Е. О. Цыганок, А. А. Бахарев[✉]

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: salers@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – проанализировать продуктивные и воспроизводительные качества скота голштинской породы Тюменской области в сравнении с ведущими предприятиями США с применением геномной селекции. **Материалы и методы.** Использованы зоотехнические, статистические и экономические методы. В рамках работы решались задачи по рассмотрению роста и развития ремонтного молодняка; анализировались основные показатели воспроизводства телок и коров основного стада; оценивалась молочная продуктивность коров и первотелок по данным первичного учета; проведена зоотехническая оценка быков-производителей, применяемых в условиях хозяйства; сопоставлялись результаты геномной оценки с фактической молочной продуктивностью. **Научная новизна** работы заключается в том, что генотипирование было проведено в условиях крупного промышленного комплекса, потому как применение геномной оценки не получило широкого распространения в хозяйствах на территории Российской Федерации. **Результаты исследований.** Показатели интенсивности роста ремонтного молодняка, выращиваемого в условиях предприятия ООО «Эвика-Агро», соответствуют мировым стандартам породы, а в некоторых случаях превосходят их. Интенсивность выращивания телок позволяет проводить более раннее осеменение, что способствует и ранним отелам: 98 % животных телятся до 25-го месяца жизни. Оценка молочной продуктивности во многом соответствуют показателям передовых хозяйств США. ООО «Эвика-Агро» использует выдающихся быков-производителей мирового генофонда для улучшения хозяйственно полезных признаков, тем самым ускоряя темпы селекции. Анализ геномной оценки показал значительное расхождение генетического базиса молочной продуктивности от фактического уровня молочной продуктивности. Это наиболее заметно по индексу пожизненной прибыли (682 \$) и среднему увеличению по молоку за лактацию (916,2 кг) между худшей и лучшей нетелью в выборке.

Ключевые слова: голштинская порода, зоотехническая оценка, продуктивные качества, геномная оценка, геномная селекция, генетический потенциал

Для цитирования: Цыганок В. О., Цыганок Е. О., Бахарев А. А. Использование геномной оценки в совершенствовании продуктивных качеств коров голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 218–231. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-218-231>.

Дата поступления статьи: 07.06.23, **дата рецензирования:** 12.08.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

The use of genomic assessment in improving the productive qualities of Holstein cows

V. O. Tsyganok, E. O. Tsyganok, A. A. Bakharev[✉]

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

[✉]E-mail: salers@mail.ru

Abstract. Purpose of the study is analysis of productive and reproductive qualities of the Holstein cattle of the Tyumen region in comparison with the leading American enterprises using genomic selection. **Materials and methods.** Zootechnical, statistical and economic methods were used. As part of the work, the tasks were solved to consider the growth and development of replacement young animals; the main indicators of reproduction of heifers and cows of the main herd were analyzed; the milk productivity of cows and first-calf heifers was estimated

according to the primary accounting data; a zootechnical assessment of sires used in the economy was carried out; the results of the genomic assessment were compared with the actual milk production. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that genotyping was carried out in the conditions of a large industrial complex, because the use of genomic evaluation was not widely used in farms in the Russian Federation. **Research results.** The indicators of the intensity of growth of replacement young animals grown in the conditions of the Evika-Agro enterprise correspond to the world standards of the breed, and in some cases exceed them. The intensity of growing heifers allows for earlier insemination, which also contributes to early calving - 98% of animals calve up to 25 months of age. Estimates of milk production are largely consistent with those of advanced farms in the United States. "Evika-Agro" LLC uses outstanding sires from the world's gene pool to improve economically useful traits, thereby accelerating the rate of selection. Analysis of the genomic assessment showed a significant discrepancy between the genetic basis of milk production and the actual level of milk production. This is most noticeable in the lifetime earnings index (\$ 682) and the average increase in milk per lactation (916.2 kg) between the worst and best heifers in the sample.

Keywords: Holstein breed, zootechnical evaluation, productive qualities, genomic evaluation, genomic selection, genetic potential

For citation: Tsyganok V. O., Tsyganok E. O., Bakharev A. A. The use of genomic assessment in improving the productive qualities of Holstein cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (02): 218–231. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-218-231>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.06.23, **date of review:** 12.08.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Одним из основных факторов эффективного развития животноводства является селекционно-племенная работа, включающая систему мероприятий, направленных на улучшение наследственных качеств сельскохозяйственных животных, повышение их породности и продуктивности.

Оценка племенной ценности крупного рогатого скота – сложный этап в разведении сельскохозяйственных животных. В текущих реалиях без использования геномной селекции невозможно достичь высоких показателей продуктивности, поэтому для перехода на качественно новый уровень ведения животноводства необходимо применение генотипирования. Данный инструмент ускорит генетический прогресс путем определения потенциала животного в раннем возрасте.

Актуальность данной работы заключается в том, что мировые тенденции в последнее десятилетие претерпевают значительные изменения, вызванные появлением новых технологий в оценке племенной ценности сельскохозяйственных животных на основе молекулярно-генетических маркеров хозяйственно ценных признаков продуктивности и здоровья.

Определение генетического потенциала на 2–3-й месяц жизни позволит проводить выростниковку телочек, не подходящих под критерии селекционной программы. Это, в свою очередь, приведет к повышению среднего уровня продуктивности в стаде и снизит затраты на выращивании ремонтного молодняка, что в условиях рыночной экономики является важным показателем рентабельности сельскохозяйственного производства. Данный метод оценки племенной ценности актуален в условиях крупных

животноводческих комплексов, на которых концентрация производственных мощностей требует увеличения темпов селекционного прогресса.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проводилось на базе хозяйства ООО «Эвика-Агро» с 2018 по 2021 г. на животных голштинской породы, завезенных из Венгрии и Словакии в 2012–2014 гг. Стадо полностью адаптировано к условиям Тюменской области. По итогам 2020 г. надой на фуражную корову составил 11 071 кг за лактацию. Исследования производились на 880 животных.

В первую очередь проводилась оценка интенсивности выращивания молодняка при помощи проведения ежемесячных контрольных взвешиваний. Живая масса телят молочного периода осуществлялась измерительной лентой по показателю обхвата груди и определению живой массы по соответствующей шкале.

После проведения контрольного взвешивания проводились анализ среднесуточного прироста и живой массы телок и сравнение их с показателями ведущих хозяйств США.

Воспроизводительные качества отслеживались еженедельно после проведения ректального исследования с использованием программы управления стадом Dairy Comp 305. Полученные результаты также были сопоставлены с показателями передовых предприятий США.

Оценка молочной продуктивности происходила на основании документов первичного зоотехнического учета и последних завершённых лактаций. Полученные данные были сопоставлены с мировыми стандартами голштинской породы.

Зоотехническая оценка проверяемых быков проводилась методом сопоставления дочерей сверстниц. Подбор животных для проведения опыта происходил с помощью метода пар-аналогов.

Забор кожных выщипов осуществлялся аппликатором Allflex. Выщипы хрящевой ткани производились из ушей.

Все результаты отправляются в США в лабораторию компании STgenetics. Это одна из трех сертифицированных лабораторий в США. Все полученные данные попадают в единую базу генотипов голштинской породы CDCB (совет по племенному молочному скотоводству США).

Геномные результаты Vision+75™ включает геномный тест 75 признаков, маркеров и индексов, том числе все признаки CDCB, среди которых продуктивность, долголетие, здоровье, признак телосложения.

Обработка и анализ полученных данных производились с помощью электронных таблиц Excel. Результаты геномного тестирования обрабатывались в Excel.

Результаты исследования (Results)

1. Анализ роста и развития молодняка

Современная селекционная работа в области молочного животноводства представляет собой широкий комплекс мероприятий, направленных на совершенствование генетических характеристик породы, а также на повышение рентабельности племенных организаций. Значительный прогресс в качественном улучшении отрасли молочного скотоводства в странах с развитой селекционно-племенной работой является следствием внедрения инновационных биотехнологий, эффективных технологий содержания и кормления, комплексных программ селекции и разведения. В результате такого комплексного подхода уже многие годы наблюдается неуклонный рост генетического потенциала по ряду экономически значимых параметров. Во многих странах средняя продуктивность коров увеличилась более чем в два раза за последние 40 лет [1, с. 10414–10428].

Таблица 1.1

Динамика среднесуточного прироста и живой массы телок с возрастом, $S \pm x$

Возраст, мес.	ООО «Эвика-Агро»		Holstein Association USA	
	Привес ср. сут., г	Живая масса, кг	Привес ср. сут., г	Живая масса, кг
0–2	922 ± 146,9	96 ± 8,4	990	90
3	886 ± 125,6	123 ± 9,4	990	120
4	1052 ± 115,1	155 ± 15,4	990	150
5	1122 ± 10,8	189 ± 19,4	990	180
6	1149 ± 350,2	224 ± 24,1	990	210
7	1227 ± 287,0	262 ± 23,6	990	240
8	1035 ± 290,9	293 ± 24,2	990	270
9	848 ± 300,2	319 ± 29,0	650	290
10	812 ± 295,5	344 ± 25,6	650	310
11	902 ± 309,7	372 ± 30,4	650	330
12	918 ± 311,6	400 ± 30,5	650	350
13	994 ± 310,9	430 ± 33,5	650	370

Table 1.1

Dynamics of average daily gain and live weight of heifers with age, $S \pm x$

Age, months	“Evika-Agro” LLC		Holstein Association USA	
	Weight gain average day, g	Live weight, kg	Weight gain average day, g	Live weight, kg
0–2	922 ± 146.9	96 ± 8.4	990	90
3	886 ± 125.6	123 ± 9.4	990	120
4	1052 ± 115.1	155 ± 15.4	990	150
5	1122 ± 10.8	189 ± 19.4	990	180
6	1149 ± 350.2	224 ± 24.1	990	210
7	1227 ± 287.0	262 ± 23.6	990	240
8	1035 ± 290.9	293 ± 24.2	990	270
9	848 ± 300.2	319 ± 29.0	650	290
10	812 ± 295.5	344 ± 25.6	650	310
11	902 ± 309.7	372 ± 30.4	650	330
12	918 ± 311.6	400 ± 30.5	650	350
13	994 ± 310.9	430 ± 33.5	650	370

Промышленная технология производства молока при текущем этапе развития АПК повышает требования как к средствам механизации, так и к самим животным, которым необходимо адаптироваться к содержанию в больших группах и при этом сохранить свои хозяйственно полезные и воспроизводственные качества. Крупный рогатый скот пород отечественной селекции на данный момент еще не в полной мере отвечает требованиям современной технологии, поэтому создание стада, а также решение вопросов комплектования и выращивания ремонтного молодняка являются актуальными и своевременными [2, с. 43–52].

Один из важнейших моментов в организации и ведении племенной работы при совершенствовании типов и пород молочного скота – выращивание ремонтного молодняка. Рациональная система выращивания молодняка с учетом биологических особенностей животных должна способствовать нормальному росту, развитию, формированию крепкой конституции и длительному сроку хозяйственного использования.

В работе проводилось исследование интенсивности выращивания молодняка путем сравнения динамики среднесуточного прироста и живой массы ремонтного молодняка с ведущими показателями хозяйств США (таблица 1.1).

Перевод телят из индивидуальных домиков и объединение их в группы, как правило, сопровождается определенным технологическим стрессом, негативно влияющим на окислительно-восстановительные процессы в организме. Возникающий стресс влияет на среднесуточный привес, снижая его в период 3–4 месяцев жизни теленка, что можно отметить по данным, представленным в таблице.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что показатели ремонтного молодняка, выращиваемого в условиях предприятия «Эвика-Агро», соответствуют мировым стандартам породы, а в некоторых случаях превосходят их [3].

Интенсивное выращивание молодняка до 12 месяцев позволяет проводить и более раннее осеменение. Телок осеменяют в 12–13-месячном возрасте, для того чтобы максимально приблизить первый отел. Ранний отел дает возможность раньше получить прибыль от нетели, введенной в стадо.

2. Основные показатели воспроизводства телок и коров основного стада

Эффективность молочного скотоводства напрямую зависит от темпов воспроизводства поголовья скота. Успех воспроизводства стада животных во многом определяется репродуктивными способностями самих животных – плодовитостью коров, их состоянием здоровья и репродуктивных функций организма [4, с. 38–44; 5, с. 46–51].

Проблему восстановления поголовья скота возможно решить, только улучшая его репродуктивные

качества [6, с. 134]. Уровень воспроизводства во многом определяет рентабельность ведения хозяйства, что существенно отражается на показателях молочного скотоводства. В условиях интенсификации животноводства повышается необходимость в активном регулировании процессов воспроизводства [7, с. 54–56].

На основании проведенных учеными исследований можно выделить некоторые проблемы, связанные с воспроизводством: удлинённый межотельный цикл вследствие несвоевременного осеменения коров после отела; ряд гинекологических заболеваний, которые приводят к снижению воспроизводительных качеств, и на фоне этого – сниженный выход телят у всех популяций голштинского скота. Возможно, это объясняется высокой продуктивностью животных, отдельными нарушениями в технологической цепи обслуживания коров, адаптационным периодом [8, с. 114–115].

В проведенном исследовании были проанализированы показатели воспроизводства коров основного стада ООО «Эвика-Агро» в сравнении с передовыми предприятиями США (таблица 2.1.).

Анализ показал, что на предприятии уделяется большое внимание вопросам воспроизводства. Так, показатели межотельного интервала, выявления в охоте, оплодотворяемость, индекс стельности коров и первотелок и стельных коров к 150-му дню полностью соответствуют, а по некоторым превосходят показатели ведущих хозяйств США.

Превышение периода добровольного ожидания при 59 днях в хозяйствах США связано с более медленным достижением животными пика лактации, что сдвигает данный показатель. По этой причине первое осеменение происходит позже, на 82-й день лактации.

Применяется как синхронизация половой охоты, так и естественное осеменение между циклами синхронизации, если животное проявляет признаки «добровольной охоты».

Процент оплодотворяемости имеет прямую корреляцию с процентом стельных коров к 150-му дню, потому как чем меньше оплодотворяемость, тем меньше животных успевают стать стельными к 150-му дню. И чем дольше затягивается осеменение, тем больше увеличивается непродуктивное содержание коров в конце лактации с низкой молочной продуктивностью.

Для сравнения с мировыми стандартами были взяты показатели воспроизводства ремонтного молодняка в условиях предприятия ООО «Эвика-Агро» (таблица 2.2.).

Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне воспроизводства у ремонтного молодняка. Так, выявление в охоте и оплодотворяемость превышают средние показатели хозяйств США на 16 % и 9 % соответственно, что влечет за собой повышение показателя индекса стельности на 15 %.

Таблица 2.1
Показатели воспроизводства коров основного стада, $S \pm x$

Показатель	Benchmark USA – HO	ООО «Эвика-Агро»			
		2021	2020	2019	2018
Межотельный интервал, дней	385	384 ± 12,1	381 ± 13,2	402 ± 15,1	411 ± 17,6
Период добровольного ожидания, дней	59	67	65	65	64
Первое осеменение в текущей лактации, дней	72	81 ± 7,1	81 ± 7,5	84 ± 7,4	85 ± 7,6
Выявление в охоте, %	65	64 ± 3,5	52 ± 4,2	56 ± 2,7	51 ± 5,5
Оплодотворяемость, %	42	49 ± 4,8	47 ± 7,8	47 ± 5,4	45 ± 4,7
Индекс стельности, %	26	31 ± 3,5	32 ± 6,3	26 ± 3,9	23 ± 4,6
Индекс стельности первотелок, %	29	36 ± 6	38 ± 5,4	32 ± 4,8	29 ± 6
Индекс стельности коров 2 и более лактаций, %	25	28 ± 4,9	29 ± 5,5	23 ± 4,2	20 ± 5,3
Стельных коров к 150-му дню лактации, %	74	78	78	76	71

Table 2.1
Reproduction indicators of cows of the main herd, $S \pm x$

Indicators	Benchmark USA – HO	“Evika-Agro” LLC			
		2021	2020	2019	2018
Calving interval, days	385	384 ± 12.1	381 ± 13.2	402 ± 15.1	411 ± 17.6
Voluntary waiting period, days	59	67	65	65	64
First insemination in the current lactation, days	72	81 ± 7.1	81 ± 7.5	84 ± 7.4	85 ± 7.6
Detection in heat, %	65	64 ± 3.5	52 ± 4.2	56 ± 2.7	51 ± 5.5
Fertility, %	42	49 ± 4.8	47 ± 7.8	47 ± 5.4	45 ± 4.7
Pregnancy rate, %	26	31 ± 3.5	32 ± 6.3	26 ± 3.9	23 ± 4.6
Pregnancy rate of first-calf heifers, %	29	36 ± 6	38 ± 5.4	32 ± 4.8	29 ± 6
Pregnancy rate of cows 2 or more lactations, %	25	28 ± 4.9	29 ± 5.5	23 ± 4.2	20 ± 5.3
Pregnant cows by the 150th day of lactation, %	74	78	78	76	71

Таблица 2.2
Показатели воспроизводства ремонтного молодняка

Показатель	Benchmark USA – HO	ООО «Эвика-Агро»			
		2021	2020	2019	2018
Возраст первого осеменения, мес.	13,5	13,4 ± 0,4	13,5 ± 0,5	13,4 ± 0,7	13,8 ± 0,8
Выявление в охоте, %	55	71 ± 4	67 ± 4,1	61 ± 3,9	59 ± 5,2
Оплодотворяемость, %	53	62 ± 3,5	61 ± 4,7	59 ± 5,1	58 ± 4,8
Индекс стельности, %	29	44 ± 3,3	41 ± 3,8	36 ± 4,3	34 ± 3,9
Стельных телок в 15–17 мес., %	69	91	87	78	86
Осемененных телок в 15–17 мес., %	22	7	10	13	10
Возраст первого отела, мес.	22,9	23,5 ± 0,4	23,5 ± 0,5	23,8 ± 0,7	23,8 ± 0,8
Телки, отелившиеся до 23 мес., %	57	65	65	42	55
Телки, отелившиеся в 23–25 мес., %	37	33	32	52	38
Телки, отелившиеся после 25 мес., %	5	2	3	6	7

Table 2.2
Indicators of reproduction of replacement young animals

Indicators	Benchmark USA – HO	“Evika-Agro” LLC			
		2021	2020	2019	2018
Age of first insemination, months	13.5	13.4 ± 0.4	13.5 ± 0.5	13.4 ± 0.7	13.8 ± 0.8
Detection in hunting, %	55	71 ± 4	67 ± 4.1	61 ± 3.9	59 ± 5.2
Fertility, %	53	62 ± 3.5	61 ± 4.7	59 ± 5.1	58 ± 4.8
Pregnancy rate, %	29	44 ± 3.3	41 ± 3.8	36 ± 4.3	34 ± 3.9
Pregnant heifers at 15–17 months, %	69	91	87	78	86
Inseminated heifers at 15–17 months, %	22	7	10	13	10
Age at first calving, months	22.9	23.5 ± 0.4	23.5 ± 0.5	23.8 ± 0.7	23.8 ± 0.8
Heifers calving before 23 months, %	57	65	65	42	55
Heifers calving at 23–25 months, %	37	33	32	52	38
Heifers calving after 25 months, %	5	2	3	6	7

Интенсивность выращивания телок позволяет проводить более раннее осеменение, что способствует и ранним отелам: 98 % животных телятся до 25-го месяца жизни. Чем раньше нетель отелится и начнет лактировать, тем быстрее она начнет приносить прибыль, что в условиях рыночной экономики является ключевым параметром при оценке эффективности работы животноводческого предприятия.

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что показатели воспроизводства телок и коров основного стада соответствуют мировым тенденциям.

От года к году наблюдается улучшение динамики по снижению возраста первого осеменения, что влияет на снижение возраста при отеле.

В работе не берется ориентир на американские показатели. Они приведены для сравнения с показателями хозяйства для демонстрации организации уровня производства.

3. Оценка молочной продуктивности коров и первотелок

Во все времена селекционного процесса молочного скота особая роль придавалась получению, выращиванию и использованию высокопродуктивных животных. Показатели рекордной молочной продуктивности коров свидетельствуют о генетическом потенциале каждой породы в отдельности, возможности предела продуктивных качеств жи-

вотных. Наличие высокопродуктивных (рекордных) животных в племенном стаде определяет их племенную ценность. Доказано, что высокопродуктивные коровы обеспечивают максимальный экономический доход молочной отрасли [9, с. 9–13].

Внедрение интенсивных технологий, повышение генетического потенциала животных, улучшение технологии содержания и кормления способствует не только увеличению количества молока, но и повышению эффективности его производства. Решение этих проблем – приоритетная задача для специалистов отрасли молочного скотоводства. Отечественная селекция молочного скота, несмотря на некоторые успехи, все еще отстает от достижений иностранных селекционеров. В связи с этим использование пород мирового генофонда в практике отечественного скотоводства в настоящее время происходит в большом масштабе и быстрыми темпами. Это позволяет за короткое время создать высокопродуктивные дойные стада, особенно голштинской породы, самой обильномолочной породы в мире [10, с. 32–39].

Для проведения сравнения оценивалась молочная продуктивность коров и первотелок на основании документов зоотехнического учета и последних завершённых лактаций (таблица 3.1).

Таблица 3.1
Анализ продуктивности коров и первотёлка, $S \pm x$

Стадии лактации	Benchmark USA – HO	ООО «Эвика-Агро»			
		2021	2020	2019	2018
Первотелки					
1–40 дней, л	29	26 ± 8,1	25 ± 9,3	27 ± 10,2	24 ± 8,6
41–100 дней, л	35	35 ± 8,5	36 ± 9	34 ± 8,9	33 ± 9,4
101–200 дней, л	35	34 ± 6,6	35 ± 7,8	33 ± 8,1	32 ± 8,5
201–305 дней, л	33	30 ± 14,4	31 ± 15,5	30 ± 15,2	26 ± 16,3
Более 305 дней, л	30	27 ± 14,7	27 ± 16	21 ± 15,7	20 ± 16,5
Удой за лактацию, кг	10 060	9 798	9 622	9 334	8 297
Коровы второй и более лактаций					
1–40 дней, л	42	38 ± 15,9	35 ± 16,3	34 ± 16,5	35 ± 17,4
41–100 дней, л	47	48 ± 20,4	44 ± 22,5	43 ± 23,2	43 ± 23,9
101–200 дней, л	41	39 ± 19,6	40 ± 18,7	37 ± 19	36 ± 19,8
201–305 дней, л	34	32 ± 12,3	33 ± 13,3	28 ± 14,1	26 ± 14,8
Более 305 дней, л	29	22 ± 13,2	20 ± 14,2	19 ± 13,8	16 ± 13,5
Удой за лактацию, кг	12 500	11 702	11 505	10 664	10 310

Table 3.1
Analysis of the productivity of cows and first-calf heifers, $S \pm x$

Stages of lactation	Benchmark USA – HO	“Evika-Agro” LLC			
		2021	2020	2019	2018
Heifers					
1–40 days, l	29	26 ± 8.1	25 ± 9.3	27 ± 10.2	24 ± 8.6
41–100 days, l	35	35 ± 8.5	36 ± 9	34 ± 8.9	33 ± 9.4
101–200 days, l	35	34 ± 6.6	35 ± 7.8	33 ± 8.1	32 ± 8.5
201–305 days, l	33	30 ± 14.4	31 ± 15.5	30 ± 15.2	26 ± 16.3
More than 305 days, l	30	27 ± 14.7	27 ± 16	21 ± 15.7	20 ± 16.5
Milk per lactation, kg	10 060	9 798	9 622	9 334	8 297
Cows of second or more lactation					
1–40 days, l	42	38 ± 15.9	35 ± 16.3	34 ± 16.5	35 ± 17.4
41–100 days, l	47	48 ± 20.4	44 ± 22.5	43 ± 23.2	43 ± 23.9
101–200 days, l	41	39 ± 19.6	40 ± 18.7	37 ± 19	36 ± 19.8
201–305 days, l	34	32 ± 12.3	33 ± 13.3	28 ± 14.1	26 ± 14.8
More than 305 days, l	29	22 ± 13.2	20 ± 14.2	19 ± 13.8	16 ± 13.5
Milk per lactation, kg	12 500	11 702	11 505	10 664	10 310

Таблица 4.1

Зоотехническая оценка быков-производителей

Показатель	Daze*	Ledoux**
Индекс пожизненной прибыли, \$	753	595
Повышение молочности, кг	400	344
Продуктивное долголетие, мес.	6,1	8,2
Оплодотворяющая способность, %	101,6	102
Легкость отёла дочерей, %	2,7	3,0
Количество мертворождённых, %	6,4	10,5

Примечание. * Бык, оценённый по геному. ** Бык, проверенный по дочерям.

Table 4.1

Zootechnical evaluation of sires

Indicators	Daze*	Ledoux**
Lifetime net merit index,	753	595
Milk yield increase, kg	400	344
Productive life, months	6.1	8.2
Fertility, %	101.6	102
Ease of calving of daughters, %	2.7	3.0
Stillborns, %	6.4	10.5

Note. * Bull estimated by genome. ** Bull tested by daughters.

На протяжении анализируемого периода наблюдается стабильный рост молочной продуктивности коров всех лактаций. Это связано с совершенствованием технологии заготовки кормов и технологического процесса кормления. Также немаловажную роль играет и генетический прогресс, закладываемый с помощью использования семени выдающихся быков-производителей импортной селекции.

Подводя итог анализу оценки молочной продуктивности, можно сделать вывод, что показатели во многом соответствуют показателям передовых хозяйств США.

4. Подбор и закрепление быков-производителей с использованием генотипирования

В реализации созданного генетического потенциала продуктивности важное место занимают полноценное кормление, рациональное содержание, эффективное воспроизводство и ветеринарное обслуживание. Однако следует отметить существенную роль в совершенствовании животных и роль селекционной работы, которая обеспечивает от одной трети до половины прироста молочной продуктивности коров [11, с. 271–380; 12; 13, с. 27–28; 14, с. 681–682; 15, с. 2384].

Использование быков-производителей с высоким генетическим потенциалом в большей мере гарантирует улучшение разводимого скота, его продуктивных качеств. Генотип формируется в зависимости от интенсивности селекции, методов разведения и качества производителей, и это в значительной степени обуславливает результативность передачи наследственных особенностей получаемому потомству. Этим объясняется повышение спроса на спермопродукцию выдающихся быков с более высокой продуктивностью предков как по матери, так и по отцу. Ориентиром является и продуктивность стада, в котором бык был получен.

Учитывая, что в России основной тенденцией развития молочного скотоводства является увеличение производства молока в объемах обеспечения этим продуктом, важным остается дальнейшее повышение удоев и качества коровьего молока. Отдельные хозяйства в России достигли высоких показателей молочной продуктивности в целых стадах, до 12–13 тыс. кг молока от каждой коровы. На сегодняшний день важно «размножить» такие хозяйства. Для достижения поставленной цели необходимо изучить опыт работы животноводов, подходов к отбору крупного рогатого скота (телок, нетелей, коров), сформировать стада животных, способных в созданных для них условиях получить высокие удои [16, с. 178–193].

Одним из главных двигателей селекционного прогресса на текущий момент является подбор. Правильно организованный групповой подбор быков-производителей и закрепление их на стада способствуют ускорению развития генетического потенциала будущих поколений.

Так, с развитием геномных технологий все большее внимание уделяется проведению геномной оценки и созданию быкородящих стад, способных производить быков с высокими показателями передающей способности по хозяйственно полезным признакам. Зарубежный опыт показывает, что проведение генотипирования бычков в раннем возрасте способствует тщательному отбору выдающихся особей. Данный инструмент позволяет не только выявлять потенциал животных, но и ускорить процедуру выпуска семенной продукции на рынок, не дожидаясь проверки быка-производителя по потомству.

Кроме того, геномная оценка позволяет закреплять быков-производителей для животных индивидуально, исключая возможность возникно-

вения генетических заболеваний, обусловленных повышением инбридинга или наличием у быков летальных генов. Быки, проверенные по геному, повсеместно используются в мировых хозяйствах, что позволяет им значительно увеличить скорость селекционного прогресса.

Подбор и закрепление быков на предприятии ООО «Эвика-Агро» осуществляется с помощью специального программного обеспечения, которое проводит анализ родословной коров. Данная процедура происходит в автоматическом режиме. *Ее итогом становится выбор быков, наиболее подходящих каждой корове.*

Для анализа было выбрано 2 быка-производителя, работавших на предприятии. Полученные данные представлены в таблице 4.1.

Достоверность оценки быков по различным показателям варьируется от 85 до 95 %. Данные взяты из сводной базы быков, которые оценены CDCB.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что бык Daze, оцененный по геному, превосходит быка Ledoux, проверенного по дочерям, по показателям пожизненной прибыли (на 158 \$ за продуктивную жизнь), молочной продуктивности (56 кг за лактацию), количеству мертворожденных телят (на 4,1 %). Это связано с тем, что генотипирование позволяет запускать быка-производителя для осеменения в раннем возрасте, не дожидаясь проверки по дочерям, что значительно ускоряет генетический прогресс.

От вышеупомянутых быков были отобраны по 10 дочерей по принципу пар-аналогов. Результаты представлены в таблице 4.2.

На момент проведения исследования от данных быков не было дочерей с законченными лактациями.

Сравнение дочерей быков Daze и Ledoux показало, что дочери быка, проверенного по геному, превосходят дочерей быка, проверенного по потомству, по показателям роста и развития, что позволяет осеменять животных на 0,6 месяца раньше, благодаря чему животные на 0,5 месяца раньше вступают в лактацию. Это напрямую влияет на финансовый результат функционирования предприятия.

Делая вывод, можно сказать, что ООО «Эвика-Агро» пользуется семенем быков-производителей высокого класса, чтобы поддержать темпы развития генетического потенциала на высоком уровне.

5. Сопоставление результатов геномной оценки с фактической молочной продуктивностью

За 2016 год, по данным CDCB, точность геномной оценки выше точности оценки по родословной по основным признакам продуктивности (удой, жир, белок) на 43 % и составляет 78 %.

Высокий генетический прирост особенно заметен в сравнении голштинских быков до и после начала геномного тестирования в 2009 г. В период с 2005 по 2010 гг. средний прирост индекса пожизненной прибыли составил 40,33 \$ за год. Ежегодный прирост увеличился вдвое, с 40,33 \$ до 79,2\$, в период с 2016 по 2020 гг., что демонстрирует преимущество геномной селекции [17].

Генетический прирост обусловлен увеличением точности оценки животных, интенсификацией селекции и снижением интервала между поколениями [7, с. 28–29].

Геномная селекция может быть использована для более точного отбора телочек с высокой племенной ценностью в качестве донора для реализации эмбриональной программы, а также бычков для выращивания быков-производителей [18, с. 13].

Таблица 4.2
Сравнение дочерей быков-производителей

Показатель	Дочери Daze	Дочери Ledoux
Живая масса 6-месячном возрасте, кг	209,2	208,2
Живая масса в 12-месячном возрасте, кг	395,8	392,9
Возраст первого осеменения, мес.	12,1	12,7
Индекс стельности, %	62,8	58,4
Возраст первого отела, мес.	22,1	22,6
Прогнозируемая молочная продуктивность, кг за лактацию	9317	8809

Table 4.2
Comparison of daughters of sires

Indicators	Daze's daughters	Ledoux's daughters
Live weight at 6 months of age, kg	209,2	208,2
Live weight at 12 months of age, kg	395,8	392,9
Age of first insemination, months	12,1	12,7
Pregnancy index, %	62,8	58,4
Age at first calving, months	22,1	22,6
Predicted milk production, kg per lactation	9317	8809

Многие предприятия используют геномную оценку, чтобы решить, каких телят следует выбраковать, а каких оставить для дальнейшего воспроизводства. Поскольку откладывать принятие этого решения может быть экономически неэффективно, прогнозы по племенной ценности теперь предоставляются еженедельно, а не раз в несколько месяцев. Увеличение частоты оценок генома животных потребовало методов приближенного прогнозирования, которые требуют меньше вычислений, чем повторная обработка всех данных. Производители также используют прогнозы, дополненные данными в более позднем возрасте, чтобы решить, каких телок и коров следует осеменить сексированным или традиционным семенем, а какие должны быть донорами или реципиентами эмбрионов [19, с. 5291–5301].

Результаты геномного тестирования показали, что стадо неоднородное. Это наиболее заметно по индексу пожизненной прибыли и среднему увеличению по молоку за лактацию (682 \$ и 916,2 кг за лактацию между худшей и лучшей нетелью в выборке).

Стоит отметить, что при этом средняя молочная продуктивность за лактацию по генетическому потенциалу достаточно высокая и составляет 12 776 кг при базе голштинской породы 12 744 кг [20].

По содержанию жира и белка в молоке средний показатель практически не отличается от базовых значений по голштинской породе: увеличение по жиру +0,05 % и составляет в среднем 4,01 % за лактацию при базе 3,96 %; увеличение по белку +0,03 % и составляет в среднем 3,18 % за лактацию при базе 3,15 %.

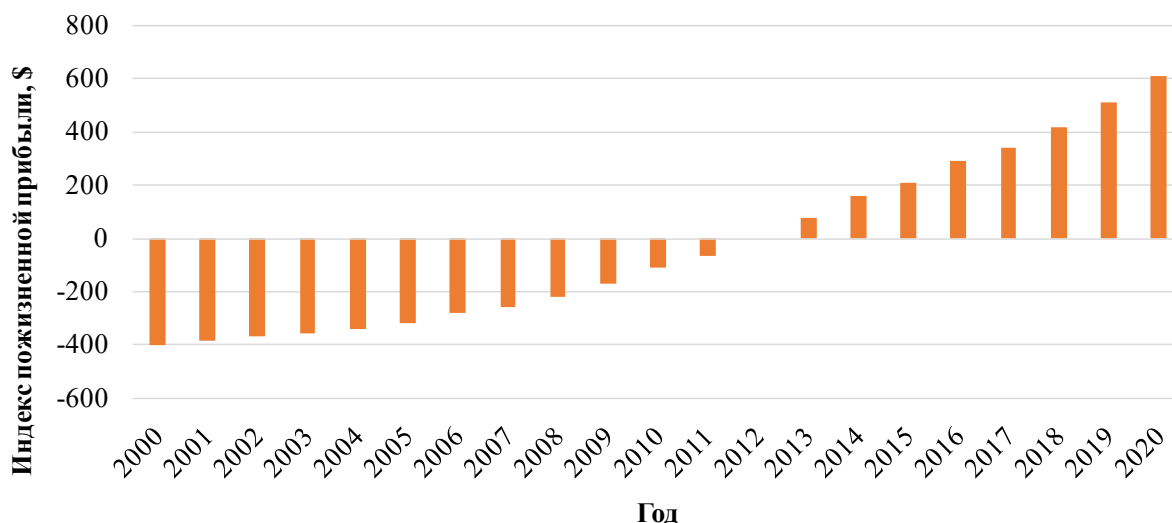


Рис. 1. Средний прирост индекса пожизненной прибыли голштинских быков

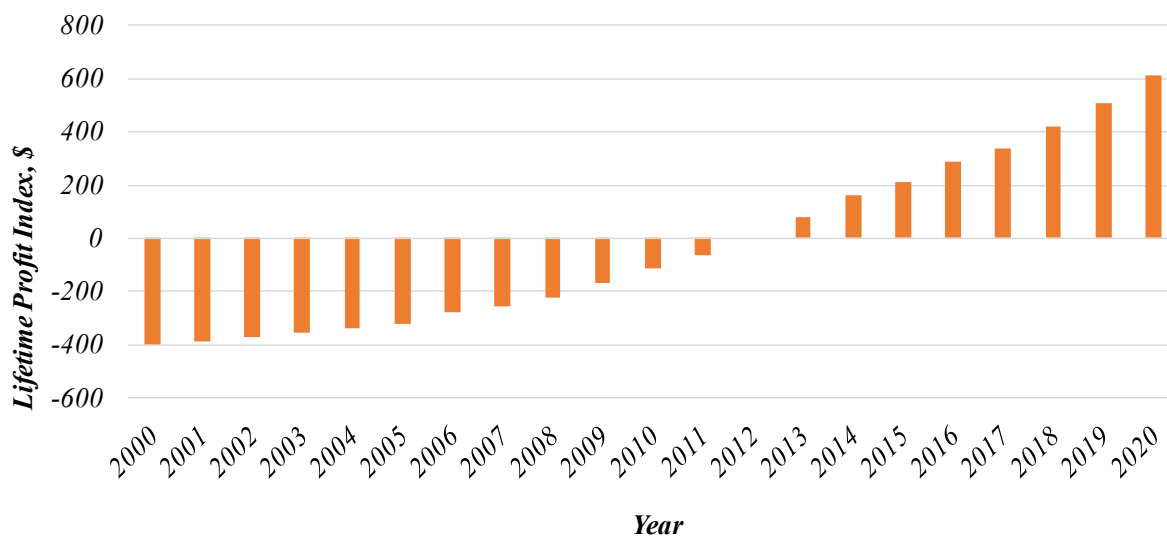


Fig. 1. Average increase in the lifetime profit index of Holstein bulls

Таблица 5.1

Средние значения по индексу пожизненной прибыли, удою, жиру и белку

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Удой за лактацию относительно базиса по голштинской породе, кг		12 776 ± 388	
Средний индекс пожизненной прибыли, NM\$	139,7 ± 127,5	Среднее увеличение по молоку за лактацию относительно базиса, кг	6,3 ± 176,1
Минимальный индекс пожизненной прибыли, NM\$	-186	Минимальное снижение по молоку за лактацию относительно базиса, кг	-370
Максимальный индекс пожизненной прибыли, NM\$	496	Максимальное увеличение по молоку за лактацию относительно базиса, кг	546,2
Содержание жира относительно базиса по голштинской породе, %	4,01 ± 0,07	Содержание белка относительно базиса по голштинской породе, %	3,18 ± 0,03
Среднее увеличение по жиру за лактацию относительно базиса, %	0,05 ± 0,07	Среднее увеличение по белку за лактацию относительно базиса, %	0,03 ± 0,03
Минимальное снижение по жиру за лактацию относительно базиса, %	-0,11	Минимальное снижение по белку за лактацию относительно базиса, %	-0,06
Максимальное увеличение по жиру за лактацию относительно базиса, %	0,29	Максимальное увеличение по белку за лактацию относительно базиса, %	0,09

Table 5.1

Average values for the index of lifetime profit, milk yield, fat and protein

Indicator	Value	Indicator	Value
Milk yield per lactation relative to the basis for the Holstein breed, kg		12 776 ± 388	
Average net merit, NM\$	139.7 ± 127.5	Average increase in milk per lactation relative to the baseline, kg	6.3 ± 176.1
Minimum net merit, NM\$	-186	Minimum increase in milk per lactation relative to the baseline, kg	-370
Maximum net merit, NM\$	496	Maximum increase in milk per lactation relative to the baseline, kg	546.2
Fat content relative to the basis for the Holstein breed, %	4.01 ± 0.07	Protein content relative to the basis for the Holstein breed, %	3.18 ± 0.03
Average increase in fat per lactation relative to baseline, %	0.05 ± 0.07	Average increase in protein per lactation relative to baseline, %	0.03 ± 0.03
Minimum increase in fat per lactation relative to the baseline, %	-0.11	Minimum increase in protein per lactation relative to the baseline, %	-0.06
Maximum increase in fat per lactation relative to the baseline, %	0.29	Maximum increase in protein per lactation relative to the baseline, %	0.09

Таблица 5.2

Уровень молочной продуктивности, жира, белка и содержания соматических клеток генотипированных животных

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Средняя молочная продуктивность, л	32,73 ± 5,35	Среднее содержание жира, %	3,55 ± 0,68
Минимальная молочная продуктивность, л	22,2	Минимальное содержание жира, %	2,26
Максимальная молочная продуктивность, л	45	Максимальное содержание жира, %	5,51
Среднее содержание соматических клеток, тыс/см ³	107 ± 273,6	Среднее содержание белка, %	3,37 ± 0,33
Минимальное содержание соматических клеток тыс/см ³	10	Минимальное содержание белка, %	2,64
Максимальное содержание соматических клеток тыс/см ³	1505	Максимальное содержание белка, %	3,94

Table 5.2

The level of milk production, fat, protein and content of somatic cells of genotyped animals

Indicator	Value	Indicator	Value
Average milk production, l	32.73 ± 5.35	Average fat content, %	3.55 ± 0.68
Minimum milk production, l	22.2	Minimum fat content, %	2.26
Maximum milk production, l	45	Maximum fat content, %	5.51
Average content of somatic cells, thousand/cm ³	107 ± 273.6	Average protein content, %	3.37 ± 0.33
Minimum content of somatic cells thousand/cm ³	10	Minimum protein content, %	2.64
Maximum content of somatic cells thousand/cm ³	1505	Maximum protein content, %	3.94

Таблица 5.3

Текущая молочная продуктивность и прогноз продуктивности за 305 дней лактации

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Средний день в доении, дн	111 ± 37,68	Средняя скорость молокоотдачи, кг/мин	2,99 ± 0,81
Минимальный день в доении, дн	42	Минимальная скорость молокоотдачи, кг/мин	1,6
Максимальный день в доении, дн	170	Максимальная скорость молокоотдачи, кг/мин	4,8
Средняя текущая молочная продуктивность за лактацию, кг	3 381 ± 1 324	Средняя прогнозируемая молочная продуктивность за 305 дней лактации, кг	9 249 ± 1 346
Минимальная текущая молочная продуктивность за лактацию, кг	1127	Минимальная прогнозируемая молочная продуктивность за 305 дней лактации, кг	6 365
Максимальная текущая молочная продуктивность за лактацию, кг	5 942	Максимальная прогнозируемая молочная продуктивность за 305 дней лактации, кг	11 784

Table 5.3

Current milk production and productivity forecast for 305 days of lactation

Index	Value	Index	Value
Average day in milking, days	111 ± 37.68	Average milk flow rate, kg/min	2.99 ± 0.81
Minimum milking day, days	42	Minimum milk flow rate, kg/min	1.6
Maximum milking day, days	170	Maximum milk flow rate, kg/min	4.8
Average current milk production per lactation, kg	3 381 ± 1 324	Average predicted milk production for 305 days of lactation, kg	9 249 ± 1 346
Minimum current milk production per lactation, kg	1 127	Minimum predicted milk production for 305 days of lactation, kg	6 365
Maximum current milk production per lactation, kg	5 942	Maximum predicted milk production for 305 days of lactation, kg	11 784

Данные контрольной дойки показали, что средняя молочная продуктивность первотелок находится на достаточно высоком уровне – 32,7 л. При этом среднее содержание жира в молоке ниже нормы по голштинской породе: 3,55 % при базисе 3,96 %. Содержание белка, наоборот, показывает обратную динамику. При базисном значении 3,15 % оно составляет 3,37 %. Такое соотношение жира и белка в молоке отчасти обусловлено отличием европейской породы голштинского скота от американской.

Средний уровень соматических клеток в молоке ниже критической отметки 200 тыс/см³ и составляет 107 тыс/см³.

При анализе первичных документов зоотехнического учета был проведен приблизительный расчет молочной продуктивности генотипированных животных за 305 дней лактации.

По данным таблицы можно сделать вывод о том, что при высоком генетическом потенциале (12 776 кг в среднем) прогнозная продуктивность за 305 дней лактации на основании контрольных доений показывает уровень 9 211 кг, что на 3 565 кг меньше, что является значительным отклонением.

Разница объясняется рядом причин, в том числе упущением в соблюдении технологии содержания и кормления. Вопрос слишком широкий, чтобы рассматривать его в рамках данной работы.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Проанализировав рост и развитие ремонтного молодняка, можно сделать вывод о том, что применяемая технология интенсивного выращивания

соответствует мировым стандартам передовых хозяйств США.

2. Основные показатели воспроизводства телок и коров основного стада во многом превосходят показатели ведущих предприятий США.

3. Оценка молочной продуктивности животных демонстрирует высокую эффективность организации производства, так как данный показатель складывается из многих факторов.

4. ООО «Эвика-Агро» использует выдающихся быков-производителей мирового генофонда для улучшения хозяйственно полезных признаков, тем самым ускоряя темпы селекции;

5. Анализ геномной оценки показал значительное расхождение генетического базиса молочной продуктивности от фактического уровня молочной продуктивности.

Предложения производству:

1. Предлагается увеличить долю быков-производителей, оцененных с помощью генотипирования, для осеменения не только коров основного стада, но и ремонтного молодняка, что позволит увеличить скорость селекционного прогресса.

2. Предлагается проведение генотипирования как ремонтного молодняка, так и коров основного стада. Данное мероприятие позволит не только выявлять животных, не подходящих требованиям текущей селекционной программе, принятой на предприятии, но и повысить качество подбора быков-производителей.

Библиографический список

1. Fessende B., Weigel D. J., Osterstock J., Galligan D. T., Di Croce F. Validation of genomic predictions for a lifetime merit selection index for the US dairy industry // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. Pp. 10414–10428.
2. Косяченко Н. М., Абрамова М. В., Лапина М. Ю. Характеристика продуктивно-хозяйственных показателей коров ярославской породы различных генотипов // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 1. С. 43–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-43-52.
3. Ассоциация голштинцев США [Электронный ресурс]. URL: <http://www.holsteinusa.com> (дата обращения: 10.05.2023).
4. Кривопушкин В. В., Кривопушкина Е. А. Продолжительность и эффективность производственного использования черно-пестрых коров разных типов и конституции в условиях Брянской области // *Вестник Брянской ГСХА*. 2020. № 1 (77). С. 38–44.
5. Подольников В. Е., Подольников М. В., Голубов А. Н. Репродуктивные качества быков-производителей при использовании в их кормлении разных по составу рационов // *Вестник Брянской ГСХА*. 2019. № 1 (71). С. 46–51.
6. Абылкасымов Д., Сударев Н. П., Чаргеишвили С. В. Эффективность использования высокопродуктивных коров разной селекции в условиях интенсивной технологии производства молока. Тверь: Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, 2020. 134 с.
7. Быкова О. А., Костюнина О. В., Степанов А. В., Шевкунов О. А. Идентификация SNP, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 6 (235). С. 53–66. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-53-66.
8. Кабицкая Я. А., Калашникова Л. А., Бойко Е. Г., Калашников А. Е. Генетическая идентификация как критерий совпадений с данными первичного учёта животных на территории УФО // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2020. № 1 (45). С. 114–120. DOI: 10.36508/RSATU.2020.45.1.020.
9. Лебедько Е. Я., Пилипенко Р. В. Генетический потенциал рекордной молочной продуктивности коров голштинской породы // *Эффективное животноводство*. 2020. № 1 (158). С. 9–13.
10. Мударисов Р. М., Хакимов И. Н., Семенов В. Г., Кульмакова Н. И. Молочная продуктивность коров голштинской породы в Южно-лесостепной зоне Предуралья // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 3. С. 32–39. DOI: 10.12737/38766.
11. Sheveleva O. M., Bakharev A. A. Meat productivity of french-bred bulls due to adaptive technology in Western Siberia // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Vol. 14. No. 4. Pp. 370–383. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-370-383.
12. Koshelev S. N., Bakharev A. A., Romanova O. V. Intensity of ecotoxicants' accumulation in internal organs and milk of dairy cows in the north-west of Transurals // *E3S Web of Conferences. International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Article number 02005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128202005.
13. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Киселев Л. Ю., Сойнова О. Л., Санова З. С. Частота доения коров – Путь к увеличению молочной продуктивности в условиях роботизированных ферм // *Аграрный вестник Урала*. 2018. № 11 (178). С. 27–32. DOI: 10.32417/article_5c6a6e23a3da76.82983272.
14. Kabitskaya Y. A., Boyko E. G. Genetic diversity of cattle bred in territory of the Tyumen region, Russia // *Archives of Razi Institute*. 2021. Vol. 76. No. 3. Pp. 681–690. DOI: 10.22092/ARI.2021.355325.1673.
15. Bakharev A. A., Sheveleva O. M., Fomintsev K. A., Grigoryev K. N., Koshchaev A. G., Amerkhanov K. A., Dunin I. M. Biotechnological Characteristics of Meat Cattle Breeds in the Tyumen Region // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. Vol. 10 (9). Pp. 2383–2390.
16. Черечеча А. А., Куликова Н. И., Нимбона К. Содержание и использование племенных коров голштинской породы в условиях интенсивной технологии // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2020. № 155. С. 178–193. DOI: 10.21515/1990-4665-155-014.
17. Влияние геномики [Электронный ресурс]. URL: <http://uscddb.com/genomic-impact> (дата обращения: 25.04.2023).
18. Mueller M. L., Van Eenennaam A. L. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle // *CABI Agriculture and Bioscience*. 2022. Vol. 3. Article number 13. DOI: 10.1186/s43170-022-00080-z.
19. Van Raden P. M. Symposium review: How to implement genomic selection // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, Iss. 6. Pp. 5291–5301.

20. Национальная ассоциация животноводов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.naab-css.org/news/april-2020-genetic-base-change> (дата обращения: 10.05.2023).

Об авторах:

Влад Олегович Цыганок, аспирант института биотехнологии и ветеринарной медицины, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0009-0005-4976-214X, AuthorID 1166622. E-mail: Legallee@bk.ru

Егор Олегович Цыганок, аспирант института биотехнологии и ветеринарной медицины, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0009-0004-6403-5576, AuthorID 918797. E-mail: tsyganok.eo@ibvm.gausz.ru

Алексей Александрович Бахарев, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор института биотехнологий и ветеринарной медицины, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-0604-4157, AuthorID 270467. E-mail: salers@mail.ru

References

1. Fessende B., Weigel D. J., Osterstock J., Galligan D. T., Di Croce F. Validation of genomic predictions for a lifetime merit selection index for the US dairy industry. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103: 10414–10428.
2. Kosyachenko N. M., Abramova M. V., Lapina M. Yu. Characteristics of the productive-economic indicators of cows of Yaroslavl breed of different genotypes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 1: 43–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-43-52. (In Russ.)
3. Holstein Association USA [Internet]. [cited 2023 May 10]. Available from: <http://www.holsteinusa.com>.
4. Krivopushkin V. V., Krivopushkina E. A. Duration and Efficiency of the Productive Use of Black-and-White Cows of Different Somatotypes in the Conditions of the Bryansk Region. *Bulletin of the Bryansk Agricultural Academy*. 2020; 1 (77): 38–44. (In Russ.)
5. Podol'nikov V. E., Podol'nikov M. V., Golubov A. N. Reproductive Quality of Stud Bulls in Dependence on Their Different Diets. *Bulletin of the Bryansk Agricultural Academy*. 2019; 1 (71): 46–51. (In Russ.)
6. Abylkasymov D., Sudarev N. P., Chargeishvili S. V. Efficiency of using highly productive cows of different selection under conditions of intensive milk production technology. Tver: All-Russian Research Institute of Breeding, 2020. 134 p. (In Russ.)
7. Bykova O. A., Kostyunina O. V., Stepanov A. V., Shevkunov O. A. Identification of SNPs associated with the reproductive ability of cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 6 (235): 53–66. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-53-66. (In Russ.)
8. Kabitskaya Ya. A., Kalashnikova L. A., Boyko E. G., Kalashnikov A. E. Genetic identification as the criterion of primary errors behind the registration of cattle on the territory of the Urals federal district. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2020; 1 (45): 114–120. DOI: 10.36508/RSATU.2020.45.1.020. (In Russ.)
9. Lebed'ko E. Ya., Pilipenko R. V. Genetic potential of record milk productivity of Holstein cows. *Effective animal husbandry*. 2020; 1 (158): 9–13. (In Russ.)
10. Mudarisov R. M., Khakimov I. N., Semenov V. G., Kul'makova N. I. Holstein breed lactation yield in the southern forest-steppe zone of Pre-Ural. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020; 3: 32–39. DOI: 10.12737/38766. (In Russ.)
11. Sheveleva O. M., Bakharev A. A. Meat productivity of french-bred bulls due to adaptive technology in Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022; 14 (4): 370–383. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-370-383.
12. Koshelev S. N., Bakharev A. A., Romanova O. V. Intensity of ecotoxicants' accumulation in internal organs and milk of dairy cows in the north-west of Transurals. *E3S Web of Conferences. International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tajikistan, 2021. Article number 02005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128202005.
13. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Kiselev L. Yu., Soynova O. L., Sanova Z. S. Frequency of cows milking is a way to increase dairy productivity on robotized farms. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018; 11 (178): 27–32. DOI: 10.32417/article_5c6a6e23a3da76.82983272. (In Russ.)
14. Kabitskaya Y. A., Boyko E. G. Genetic diversity of cattle bred in territory of the Tyumen region, Russia. *Archives of Razi Institute*. 2021; 76 (3): 681–690. DOI: 10.22092/ARI.2021.355325.1673.
15. Bakharev A. A., Sheveleva O. M., Fomintsev K. A., Grigoryev K. N., Koshchaev A. G., Amerkhanov K. A., Dunin I. M. Biotechnological Characteristics of Meat Cattle Breeds in the Tyumen Region. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018; 10 (9): 2383–2390.

16. Cherechecha A. A., Kulikova N. I., Nimbona K. Maintenance and use of breeding cows of the Holstein breed in the conditions of intensive technology *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2020; 155: 178–193. DOI: 10.21515/1990-4665-155-014. (In Russ.)
17. Impact of Genomics [Internet]. [cited 2023 Apr 25]. Available from: <http://uscddb.com/genomic-impact>.
18. Mueller M. L., Van Eenennaam A. L. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle. *CABI Agriculture and Bioscience*. 2022; 3: 13. DOI: 10.1186/s43170-022-00080-z.
19. Van Raden P. M. Symposium review: How to implement genomic selection. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103 (6): 5291–5301.
20. National Association of Animal Breeders [Internet]. [cited 2023 May 10]. Available from: <http://www.naab-css.org/news/april-2020-genetic-base-change>.

Authors' information:

Vlad O. Tsyganok, postgraduate of the institute of biotechnology and veterinary medicine, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0009-0005-4976-214X, AuthorID 1166622.

E-mail: Legallee@bk.ru

Egor O. Tsyganok, postgraduate of the institute of biotechnology and veterinary medicine, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0009-0004-6403-5576, AuthorID 918797.

E-mail: tsyganok.eo@ibvm.gausz.ru

Aleksey A. Bakharev, doctor of agricultural sciences, associate professor, director of the Institute of biotechnology and veterinary medicine, professor of the department of production technology and processing of livestock products, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-0604-4157, AuthorID 270467. *E-mail: salers@mail.ru*

Единая цифровая платформа системной интеграции сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых предприятий

Е. А. Алешина[✉], Д. В. Сердобинцев

Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ПНИИЭО АПК), Саратов, Россия

[✉]E-mail: aleshina-80@mail.ru

Аннотация. У руководства значительной части сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых организаций агропромышленного комплекса (АПК) не вызывает сомнений необходимость технической и технологической трансформации модели ведения агробизнеса в направлении цифровизации и системной интеграции как главных детерминант повышения эффективности деятельности. **Целью** работы являлась разработка платформенного механизма интеграции ресурсных подсистем предприятий регионального АПК посредством цифровой трансформации. Предлагаемый подход согласуется с ГОСТ Р ИСО 19439-2008 «Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия». Использовались следующие **методы исследования**: статистико-экономический, монографический, абстрактно-логический, расчетно-конструктивный. **Результаты исследования.** Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день активные процессы внедрения информационных технологий фиксируются во всех сферах производственно-экономической деятельности, однако сельское хозяйство находится в арьергарде отмеченных тенденций. Как следствие, имеется обширное поле деятельности для реализации digital-проектов. С этой целью авторами разработан комплекс эффективных мер по повышению уровня цифровизации АПК. **Научная новизна.** Предложен платформенный механизм системной интеграции, предполагающий применение теоретико-методологического базиса и дифференциацию инициального, мезоморфного, терминального этапов трансформационного процесса, позволяющий осуществлять транзит от интеграции IT-устройств и программного обеспечения в масштабах организации на основе Единой системы управления ресурсами предприятия через объединение с информационно-коммуникационными системами других предприятий-участников на базе платформенного продукта посредством создания Системы интегрированного управления цепочкой производства к объединению всех субъектов агропродовольственного сектора в рамках Единой цифровой платформы системной интеграции. Реализация разработанного механизма имплицитно подразумевает наличие массивов оперативных отраслевых данных, а также формирование эффективных алгоритмов анализа, что обеспечивает возможность глобального планирования и предоставления рекомендаций участникам рынка, в том числе на базе технологий искусственного интеллекта. Кроме того, Единая цифровая платформа системной интеграции станет площадкой для получения средств государственной поддержки и предоставления отчетности по ней в электронном виде, что сократит сроки ожидания.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, цифровизация, системная интеграция, ресурсная подсистема, сельскохозяйственное предприятие, перерабатывающее предприятие, сбытовое предприятие, цифровая платформа

Для цитирования: Алешина Е. А., Сердобинцев Д. В. Единая цифровая платформа системной интеграции сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых предприятий // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 232–247. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-232-247>.

Дата поступления статьи: 02.06.2023, **дата рецензирования:** 24.08.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Unified digital platform for system integration of agricultural, processing and sales enterprises

E. A. Aleshina[✉], D. V. Serdobintsev

Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences” (PSRIOAIC), Saratov, Russia

[✉]E-mail: aleshina-80@mail.ru

Abstract. The management of a significant part of agricultural, processing and marketing organizations of the agro-industrial complex no longer doubts the need for technical and technological transformation of the agribusiness model in the direction of digitalization and system integration as the main determinants of increasing the efficiency of their activities. At the same time, the analysis showed that today active processes of information technology implementation are recorded in all spheres of production and economic activity, however, the agro-industrial complex is still in the rearguard of the noted trends, which forms a vast field of activity for the implementation of digital projects and requires the preparation of a set of effective measures to increase the level of digitalization. **The purpose** of the work was to develop a platform mechanism for integrating resource subsystems of regional agricultural enterprises through digital transformation. The proposed approach is consistent with GOST R ISO 19439-2008 “Enterprise integration. The basis of enterprise modeling”. The following **research methods** were used: statistical-economic, monographic, abstract-logical, computational-constructive. **Research results.** The conducted analysis showed that today active processes of introduction of information technologies are recorded in all spheres of production and economic activity, but agriculture is in the rear of the noted trends. As a result, there is a wide range of activities for digital projects. To this end, the authors have developed a set of effective measures to increase the level of digitalization of agro-industrial complex. **Scientific novelty.** The paper proposes a platform mechanism of system integration, involving the application of a theoretical and methodological basis and differentiation of the initial, mesomorphic, terminal stages of the transformation process, enabling the transit from the integration of IT devices and software across the organization based on a Single enterprise resource management system through integration with the information and communication systems of other participating enterprises on the basis of a platform product through the creation of an integrated Production chain management System to the unification of all subjects of the agricultural sector within a Single Digital System Integration Platform. implementation of the developed mechanism implies the availability of arrays of operational and reliable industry data, as well as the formation of effective algorithms for their analysis, which provides the possibility of global planning and providing recommendations to market participants, including on the basis of artificial intelligence technologies. In addition, the Unified Digital Platform for System Integration will become a platform for receiving state support funds and reporting on it in electronic form, which will significantly reduce waiting times.

Keywords: agro-industrial complex, digitalization, system integration, resource subsystem, agricultural enterprise, processing enterprise, marketing enterprise, digital platform

For citation: Aleshina E. A., Serdobintsev D. V. Unified digital platform for system integration of agricultural, processing and sales enterprises. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 232–247. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-232-247>. (In Russ.)

Date of paper submission: 02.06.2023, **date of review:** 24.08.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В современных условиях функционирования АПК базовым условием достижения предприятием лидерских позиций на рынке стала реализация инновационных проектов по интеграции всех элементов бизнеса в единую систему на базе цифровой платформы. Очевидно, что применение ИТ (Information Technology – информационные технологии (ИТ)), обеспечивающих бесперебойные коммуникации и формирующих достаточные вычислительные мощности, целесообразно на всех этапах системы «поле → прилавок». В числе положитель-

ных результатов внедрения digital-продуктов необходимо указать снижение различных потерь, в частности, от хищения и нецелевого использования материальных средств, повышение прозрачности бизнеса, оптимизацию взаимоотношений сельхозтоваропроизводителей с государством (ускорение и упрощение документооборота, получение льготного кредитования и доступа к цифровым платформам), улучшение ситуации в сфере надзора и сертификации агропродукции, экологического контроля, относительную простоту масштабируемости проектов.

Немаловажно отметить, что с увеличением количества датчиков, сенсоров и полевых контроллеров, агрегированных в общую сеть с целью обмена информационными потоками, увеличивается объем полезных данных, получаемых пользователем. Последующая цифровая интеграция получаемых информационных ресурсов с интеллектуальными мобильными приложениями, осуществляющими их оперативную обработку с отражением результатов анализа разнообразных факторов и обоснованием возможных действий, имплицитно подразумевает серьезные организационные трансформации в бизнесе.

Наблюдающиеся в настоящий момент активизация процессов системной интеграции в агропродовольственном секторе и реализация многочисленных бизнес-проектов в этом направлении, к сожалению, пока не привели к крупномасштабной автоматизации агропроизводства и перерабатывающей сферы. На многих предприятиях все еще установлены информационные системы, являющиеся комбинациями разрозненных программ и программных комплексов, в большинстве случаев слабо интегрированных между собой, наблюдается кадровый дефицит [1–3]. Сегодня можно лишь уверенно утверждать, что IT-решения в агробизнесе будут базироваться на технологиях и подходах из бизнес-аналитики и интернета вещей.

Теоретико-методологические основы построения цифровых платформ на сегодняшний день сформулированы в трудах многих ученых. Так, в работе Ю. С. Отмаховой и Н. И. Усенко исследуются интеллектуальные технологии, которые могут быть успешно применены в отечественном агропродовольственном бизнесе, методические вопросы разработки и внедрения платформенных бизнес-моделей и связанных с ними приложений, формирования IT-инструментов для анализа готовности субъектов агропродовольственного рынка к процессам цифровизации [4]. Ю. С. Отмаховой и С. Асавасанти предложен подход к оценке потребности агропродовольственного сектора в платформенных сервисах и информационных технологиях с позиции потребительских характеристик выпускаемой продукции, а также индекса сложности товара (Product Complexity Index), продуктового пространства (Product Space) и его корреляции с digital-элементами производства. Данный подход служит для исследования возможностей применения методов и технологий искусственного интеллекта (ИИ) и анализа Big Data (больших данных) с учетом восходящих и нисходящих потоков полного цикла цепи формирования добавленной стоимости [5]. При этом Е. П. Гусакова, А. В. Щуцкая, Е. П. Афанасьева отмечают, что зоной покрытия информационно-коммуникационных технологий должны быть все основные технологические процессы в агропромышленном комплексе [6]. И. Ф. Юрченко рассматривает ключевые меро-

приятия в направлении цифровой трансформации агропредприятия на мелиорируемых землях [7]. В трудах В. И. Меденникова в ретроспективе исследуется опыт информатизации отечественного агропромышленного комплекса, а также анализируются современные тенденции цифровизации агросектора с целью выявления инновационных направлений реализации процессов цифровой трансформации отрасли в ближайшем будущем на основе формирования цифровой платформы АПК как элемента интернет-пространства страны. По мнению автора, в России концептуальные основы построения интегрированной цифровой платформы АПК были изучены на базе разработки экономико-математической модели создания оптимальной платформы в масштабах задания «Электронизация сельского хозяйства» Комплексной программы НТП стран – членов СЭВ. На основе указанной модели были выявлены общие для агропредприятий облачные IT-подплатформы. Теоретическим фундаментом авторских разработок стали идеи Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством в СССР, предложенной академиком А. И. Китовым и В. М. Глушковым, приобретающие особую актуальность в последние годы. С целью эффектного отражения эвентуальности создания облачных сервисов на базе модели интегрированной цифровой платформы АПК В. И. Меденниковым разработаны схемы перспективной цифровой подплатформы точного земледелия и единого интернет-пространства цифрового взаимодействия логистической деятельности агропроизводства, переработки и сбыта готовой продукции [8–11]. В работе И. А. Ганиевой классифицируются приоритетные проблемы субъектов агробизнеса, возникающие в процессе трансфера к цифровому формату функционирования, обосновывается наполнение и архитектура цифровой платформы отечественного агросектора, предлагается комплекс критериев для оценки эффективности процессов его IT-трансформации [12]. В свою очередь, А. В. Колесников с соавторами [13; 14] констатируют, что информационные технологии (Low-power Wide-area Network (LPWAN), Big Data, управленческие платформы др.) на текущий момент активно используются в агропроизводстве, однако пока преимущественно в секторе цепочек поставок. Указанными авторами также выделяются технологические платформы, которые в перспективе образуют фундамент для развития цифровых технологий в агросегменте. В статье Е. Синцова, Е. Вицко рассматриваются перспективы реализации цифровой модернизации на базе краудфандинга, используемого в качестве альтернативы иным вариантам финансирования, в том числе в условиях трудосберегающего типа экономического роста [15].

Согласно ГОСТ Р ИСО 19439-2008 «Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия»¹, природа организации характеризуется четырьмя представлениями модели, спектакулярно демонстрирующими ее ресурсное, организационное, функциональное и информационное содержание. В рамках исследования разработан механизм системной интеграции ресурсных подсистем в объединении организаций 2 и 3 сфер АПК на основе цифровизации, автоматизации и создания мульти-сервисной платформы, обеспечивающих эффективное функционирование и устойчивое развитие участников объединения и системы в целом.

Методология и методы исследования (Methods)

Теоретическую, методологическую и информационную базу исследования составили труды отечественных и зарубежных ученых, материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстата), Министерств экономического развития, сельского хозяйства, науки и высшего образования Российской Федерации, высших учебных заведений, научных институтов федерального и регионального уровня и другие источники. Нормативную основу составил национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 19439-2008 «Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия»². При изучении теоретических и методологических основ цифровизации деятельности предприятий использованы монографический и логический методы. Изучение современного состояния информационно-технологического развития отдельных отраслей экономики страны проводилось на основе статистико-экономического анализа, а также методом сопоставительного анализа. Определение направлений цифровой трансформации деятельности агропромышленных предприятий проводилось с применением абстрактно-логического и расчетно-конструктивного методов.

Результаты (Results)

В настоящее время не вызывают сомнений значимость и актуальность процессов цифровизации и системной интеграции как на государственном, так и на частном уровне, что спектакулярно проявляется в их акселерации во всех отраслях отечественной экономики, создании специализированных ведомств, реализации целевых программ, в том числе в агросекторе. По данным Высшей школы

экономики (ВШЭ), валовые внутренние затраты России на развитие цифровизации с 2017 по 2021 год выросли с 3,6 до 3,7 % валового внутреннего продукта (ВВП), составив 4848 млрд руб. При этом за то же время внутренние затраты организаций на создание, распространение и использование цифровых технологий и связанных с ними продуктов и услуг увеличились с 1,9 до 2,2 % ВВП, составив 2947 млрд руб. Затраты домашних хозяйств страны на использование цифровых технологий и связанных с ними продуктов и услуг выросли с 1,3 до 1,5 % ВВП, или до 1901 млрд руб. [16].

В структуре общей суммы затрат российских предприятий на создание, распространение и использование цифровых технологий и связанных с ними продуктов наибольшую долю естественным образом составляют организации информации и связи. В числе лидеров также следует указать финансовые, образовательные, профессиональные, научные и технические организации (таблица 1). При этом сельское хозяйство наряду с организациями культуры и спорта, а также административной и сопутствующей деятельностью находится в аутсайдерах, что может свидетельствовать о большом резерве роста цифровизации данных отраслей.

Как следует из приведенной таблицы, лидерами по внедрению ИТ являются предприятия информации и связи, услуги которых, в свою очередь, пользуются увеличивающимся спросом у предприятий других отраслей. Среди данных услуг, разумеется, преобладает предоставление доступа в Интернет, направления использования которого необходимо рассмотреть подробнее. Таблица 2 демонстрирует, что наиболее популярным использованием Интернета являются отправка, получение электронной почты и поиск информации, значительно менее популярны банковские (финансовые) операции, обучение персонала и видеоконференции. Телефонные переговоры VoIP (Voice over Internet Protocol – голос через интернет-протокол), наем персонала и подписка на платный доступ к электронным базам данных и библиотекам примерно в два раза менее популярны, чем два первых направления.

Резюмируя вышесказанное, необходимо отметить, что сегодня в отечественной экономике наблюдаются процессы ускоренного внедрения и распространения цифровых технологий, определяющих возможности развития высокотехнологичного бизнеса, повышения конкурентоспособности страны на глобальном рынке, укрепления национальной безопасности и роста качества жизни людей. Между тем в АПК пока фиксируется незначительная глубина проникновения ИТ, что открывает широкие горизонты для реализации digital-проектов и индуцирует необходимость разработки дополнительных мер, направленных на активизацию трансформационных процессов [17–19].

¹ ГОСТ Р ИСО 19439-2008 «Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия» [Электронный ресурс]. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293826/4293826776.htm> (дата обращения: 24.04.2023).

² ГОСТ Р ИСО 19439-2008 «Интеграция предприятия. Основа моделирования предприятия» [Электронный ресурс]. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293826/4293826776.htm> (дата обращения: 24.04.2023).

С целью поддержки отмеченных инициатив в рамках исследования предложен механизм системной интеграции сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых предприятий, представляющий собой динамический процесс объединения субъектов агробизнеса, обеспечивающий переход от фрагментарного использования приложений и программных компонентов с целью автоматизации,

исполнения и мониторинга отдельных бизнес-процессов в организации, через агрегацию ИТ-систем и программного обеспечения в границах бизнес-единицы и последующую интеграцию с ИТ-системами предприятий-партнеров на платформенном каркасе к высшему уровню интеграции информационных систем в АПК – консолидации всех хозяйствующих субъектов на базе Единой цифровой платформы системной интеграции (ЕЦПСИ).

Таблица 1
Структура внутренних затрат организаций на создание, распространение и использование цифровых технологий и связанных с ними продуктов и услуг по видам экономической деятельности в 2021 г.

Отрасли экономики	Структура, %
Информация и связь, из нее:	29,4
отрасль информационных технологий	12,7
Финансовый сектор	12,9
Профессиональная, научная и техническая деятельность	10,3
Оптовая и розничная торговля	9,2
Обрабатывающая промышленность	8,7
Транспортировка и хранение	5,1
Государственное управление, социальное обеспечение	4,2
Образование	4,1
Строительство	2,8
Операции с недвижимым имуществом	2,7
Здравоохранение	2,6
Культура и спорт	2,0
Добыча полезных ископаемых	1,9
Обеспечение энергией	1,8
Гостиницы и общественное питание	0,5
Сельское хозяйство	0,4
Водоснабжение, водоотведение, утилизация отходов	0,3
Прочие	1,1
Итого	100,0

Примечание. Составлено авторами по данным ВШЭ [16].

Table 1
The structure of internal costs of organizations for the creation, distribution and use of digital technologies and related products and services by type of economic activity in 2021

Branches of the economy	Structure, %
Information and communication, from it:	29.4
information technology industry	12.7
Financial sector	12.9
Professional, scientific and technical activities	10.3
Wholesale and retail trade	9.2
Manufacturing industry	8.7
Transport and storage	5.1
Public administration, social security	4.2
Education	4.1
Construction	2.8
Operations with real estate	2.7
Healthcare	2.6
Culture and sports	2.0
Mining	1.9
Energy supply	1.8
Hotels and catering	0.5
Agriculture	0.4
Water supply, sewerage, waste disposal	0.3
Other	1.1
Total	100.0

Note. Compiled by the authors based on HSE data [16].

Направления использования Интернета в 2021 г. организациями России

Направления	Доля организаций, %
Электронная почта	77,8
Поиск информации	76,9
Банковские и другие финансовые операции	60,1
Профессиональная подготовка персонала	46,9
Видеоконференции	43,1
Телефонные переговоры (VoIP)	36,1
Внутренний или внешний наем персонала	34,6
Платный доступ к электронным базам данных или библиотекам	31,0

Примечание. Составлено авторами по данным ВШЭ [16].

Table 2

Directions for using the Internet in 2021 by organizations in Russia

Directions	Share of organizations, %
<i>E-mail</i>	77.8
<i>Search for information</i>	76.9
<i>Banking and other financial transactions</i>	60.1
<i>Personnel training</i>	46.9
<i>Videoconferencing</i>	43.1
<i>Telephone conversations (VoIP)</i>	36.1
<i>Internal or external recruitment</i>	34.6
<i>Paid access to electronic databases or libraries</i>	31.0

Note. Compiled by the authors based on HSE data [16].

Реализация данного механизма позволит объединить потоки объективной информации предприятий всех сфер АПК и государственных данных в платформу с целью обеспечения возможности глобального планирования в отраслях и предоставления рекомендаций участникам рынка, в том числе на базе технологий искусственного интеллекта.

Предложенный механизм включает в себя стратегически значимые мероприятия, направленные на развитие процессов системной интеграции в региональном АПК. На инициальном этапе системная интеграция происходит в масштабах предприятия и приводит к формированию Единой системы управления его ресурсами (ЕСУРП), обеспечивающей рационализацию их структуры, объема и трафика. Приоритетные мероприятия данного этапа: выбор оборудования для создания масштабируемой ИТ-инфраструктуры, подготовка и повышение квалификации профильных специалистов, формирование технической информационной сети предприятия. Мезоморфный этап предполагает межфирменный уровень системной интеграции на основе разработки концепции взаимодействия платформы и пользователей, установки комплексных систем персонализации доступа к информационным системам и завершается созданием Системы интегрированного управления цепочкой производства предприятий-партнеров (СИУЦП), позволяющей им добиться заметного уменьшения транзакционных издержек посредством существенной акселерации коммуникаций пользователей и устранения

посредников. Важно отметить, что сложность и высокочувствительность мезоморфного периода детерминирует необходимость соблюдения принципов целесообразности и поступательности при реализации трансформационных мероприятий. Реализация терминального этапа заключается в разработке и построении Единой федеральной цифровой платформы системной интеграции предприятий АПК (ЕЦПСИ), перманентном расширении ее функционала посредством развития сервисов. К числу ключевых функций органов власти в направлении развития системной интеграции следует отнести экономические (снижение издержек на участие в ЕЦПСИ предприятий АПК, стимулирование развития платформы, привлечение финансовых регуляторов и операторов) и организационные (разработка и развитие концепции создания ЕЦПСИ, формирование стратегии, формализация процесса, популяризация, оптимизация и регулирование процессов функционирования ЕЦПСИ). Основные функции субъектов агропромышленного сектора также реализуются по экономическим (приобретение офисных приложений, систем документооборота, оборудования с гибкой аппаратной частью, поддерживающей различные модули и современное программное обеспечение (ПО)) и организационным (рационализация движения ресурсных потоков, в том числе объектов интеллектуальной собственности, оформление токенов доступа к системам управления госфинансами и электронного сопровождения) составляющим.

ЭКОНОМИКА

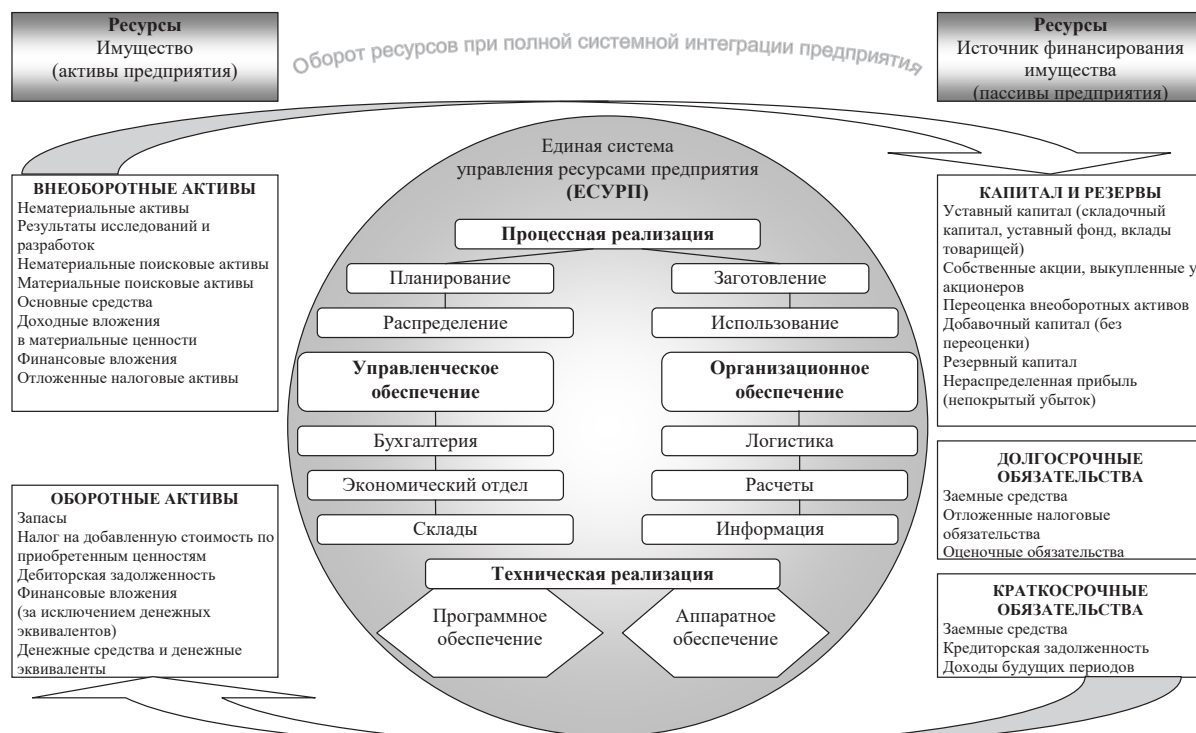


Рис. 1. Схема системной интеграции управления ресурсами внутри предприятий
Источник: разработано авторами

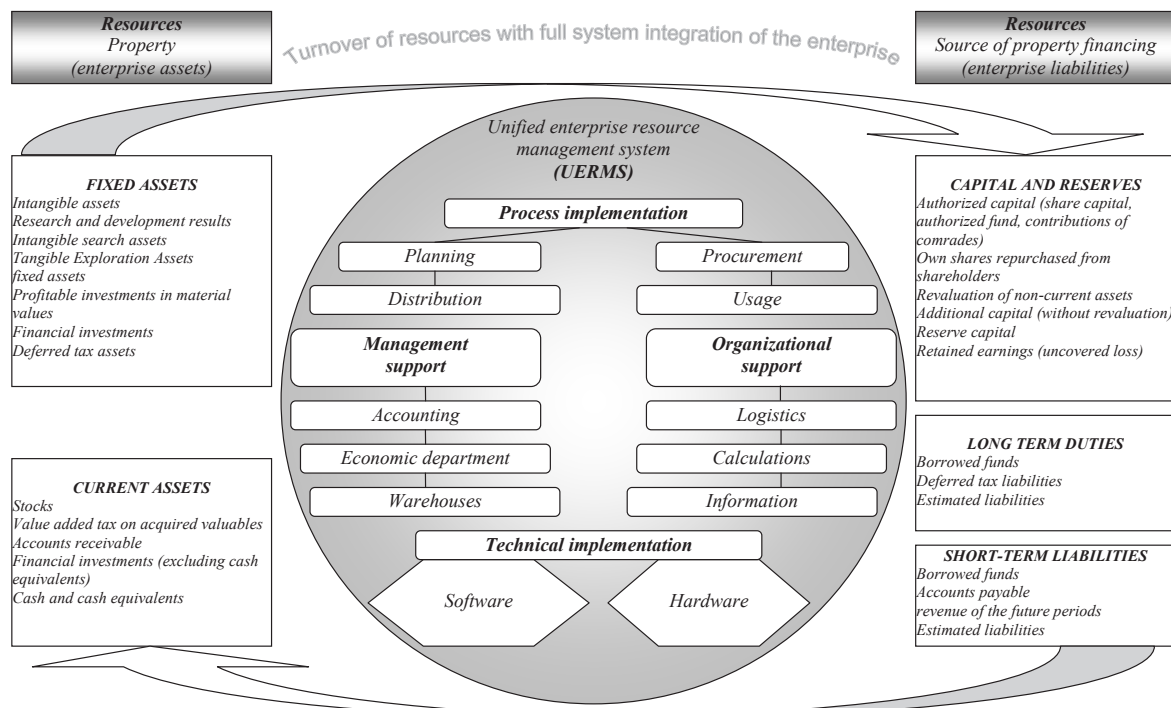


Fig. 1. Scheme of system integration of resource management within enterprises
Source: developed by the authors

Схематически модель системной интеграции управления ресурсами внутри предприятий отражает круговорот ресурсов в соответствии с принципами двойной записи бухгалтерского учета, где началом (и одновременно итогом) функционирования выступает имущество бизнес-единицы, а итогом

(и началом) становятся источники его финансирования. Центральной частью является сама ЕСУРП, отражающая процессы оборота ресурсов предприятия, к которым применяется данная система, а также управленческий аппарат, осуществляющий процесс ресурсооборота, и организационные меро-

приятия, им реализуемые (рис. 1). Основу ЕСУРП составляет симбиоз сетевых аппаратных и программных средств, органично встроенных в систему поддержки принятия управленческих решений организации для выполнения комплекса бизнес-задач: аккумулирование и анализ данных, сценарное планирование и имитационное моделирование бизнес-процессов. При этом здесь следует рассматривать как существующие на рынке и получившие применение на предприятии решения, так и возможные перспективные специальные разработки.

Функционирование организации на базе ЕСУРП обеспечивает рационализацию процессов учета, планирования, распределения ресурсов, а также повышение эффективности ресурсооборота предприятия.

Система интегрированного управления цепочкой производства взаимосвязанных предприятий (СИУЦП), представленная на рис. 2, spectacularно отражает диспозицию и логику ресурсов между сельскохозяйственным товаропроизводителем, перерабатывающим предприятием и сбытовой организацией. Теоретико-методологическую базу информационной системы управления ресурсными потоками указанных предприятий составляют теория расписаний, теория ограничений и теория систем (по направлению: ресурсы), а также интегрированные информационные системы (системы планирования потребности в ресурсах и их наличия, производственных мощностей, цепей поставок и др.).

Теория расписаний входит в число наиболее важных и популярных областей исследования бизнес-процессов. Основное место в ней отводится методам ресурсного планирования проектов (Resource Constrained Project Scheduling Problem, или RCPSP). Традиционная RCPSP-задача представляет собой задачу минимизации совокупного времени производственного цикла посредством дискретной оптимизации (установление последовательности выполнения работ (операций) или их дифференциация по рабочим местам и исполнителям) при выполнении условия доступности ресурсов. Критерием оптимальности может выступать также минимизация финансовых затрат. Появление данной теории связано с публикацией работ Беллмана и Джонсона, сформулировавших ключевые положения математического аппарата для решения сходных задач [20–23]. Теория расписаний находит применение в таких предметных областях, как управление производством, организация транспортных и ресурсных потоков, управление ресурсами в цифровых системах.

Под теорией ограничений (Theory of Constraints, TOC) понимается методология управления системами, базирующаяся на поиске, ослаблении или устранении основного ограничения, определяющего эффективность всей системы (например, в агробизнесе это акселерация процесса получения

и увеличение массы прибыли). Таким образом, ключевым преимуществом данной методологии выступает возможность получения большего эффекта в результате управления незначительным количеством аспектов системы и концентрации имеющихся ресурсов на этом направлении, чем вследствие одновременного или последовательного воздействия на множество ее проблемных областей. Методологическим фундаментом теории ограничений является комбинация логических инструментов, позволяющих выявлять «узкие места» на предприятии, находить решение, а также направлять необходимые ресурсы на его выполнение с учетом интересов всех стейкхолдеров. Отмеченная итерация должна реализовываться регулярно. Нацеленность на достижение результата обеспечивает очень высокую эффективность теории, а стремление к поиску взаимовыгодного решения индуцирует повышение степени взаимодействия и мотивации работников. Существуют прикладные решения теории ограничений для различных бизнес-процессов, в том числе для всей цепи поставок и использования ресурсов.

Возможность применения системного подхода в процессе управления ресурсным портфелем организации детерминирована многовариантностью и сложностью взаимосвязей его элементов. Методологическим фундаментом доказательства правомерности его использования служит ресурсная теория (RBV – Resource-Based View), рассматривающая ресурсное обеспечение предприятия в качестве некоторой целостной экономической подсистемы. При этом внешнее положение экономического объекта на рынке находится в зависимости от его внутреннего состояния, индуцированного уникальной комбинацией ресурсов, способов и направлений их использования.

Значительный вклад в изучение концептуальных основ экономической природы ресурсов организации внесли Э. Пенроуз, Б. Вернефельт, Р. Рамелт и др. В частности, Пенроуз в своей работе «Теория роста фирмы» подчеркивала, что «неоднородность... продуктивных услуг, доступных или потенциально доступных от использования ее ресурсов, обеспечивает каждой фирме уникальность» [24]. Б. Вернефельт в статье «Ресурсная трактовка фирмы» отмечал «полезность анализа фирмы скорее с точки зрения их ресурсов, чем продуктов» [25]. Развивая данные идеи, Рамелт полагал, что уникальность предприятия возрастает в процессе его функционирования. Изначально однородные организации при осуществлении своей деятельности аккумулируют различия, вследствие которых утрачивают возможность дублирования бизнес-модели друг друга [26; 27].

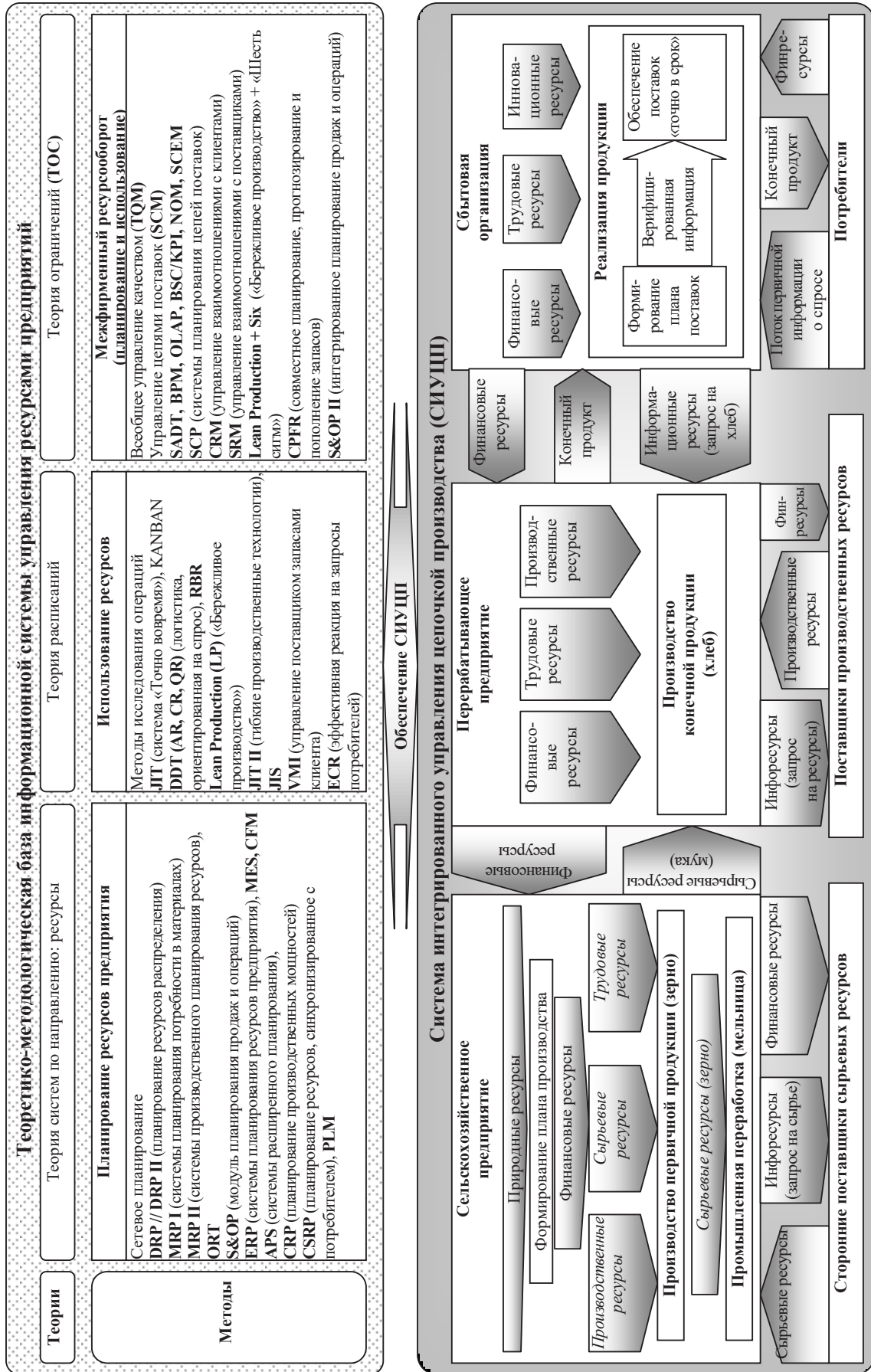


Рис. 2. Система интегрированного управления цепочкой производства взаимосвязанных предприятий
 Источник: разработано авторами

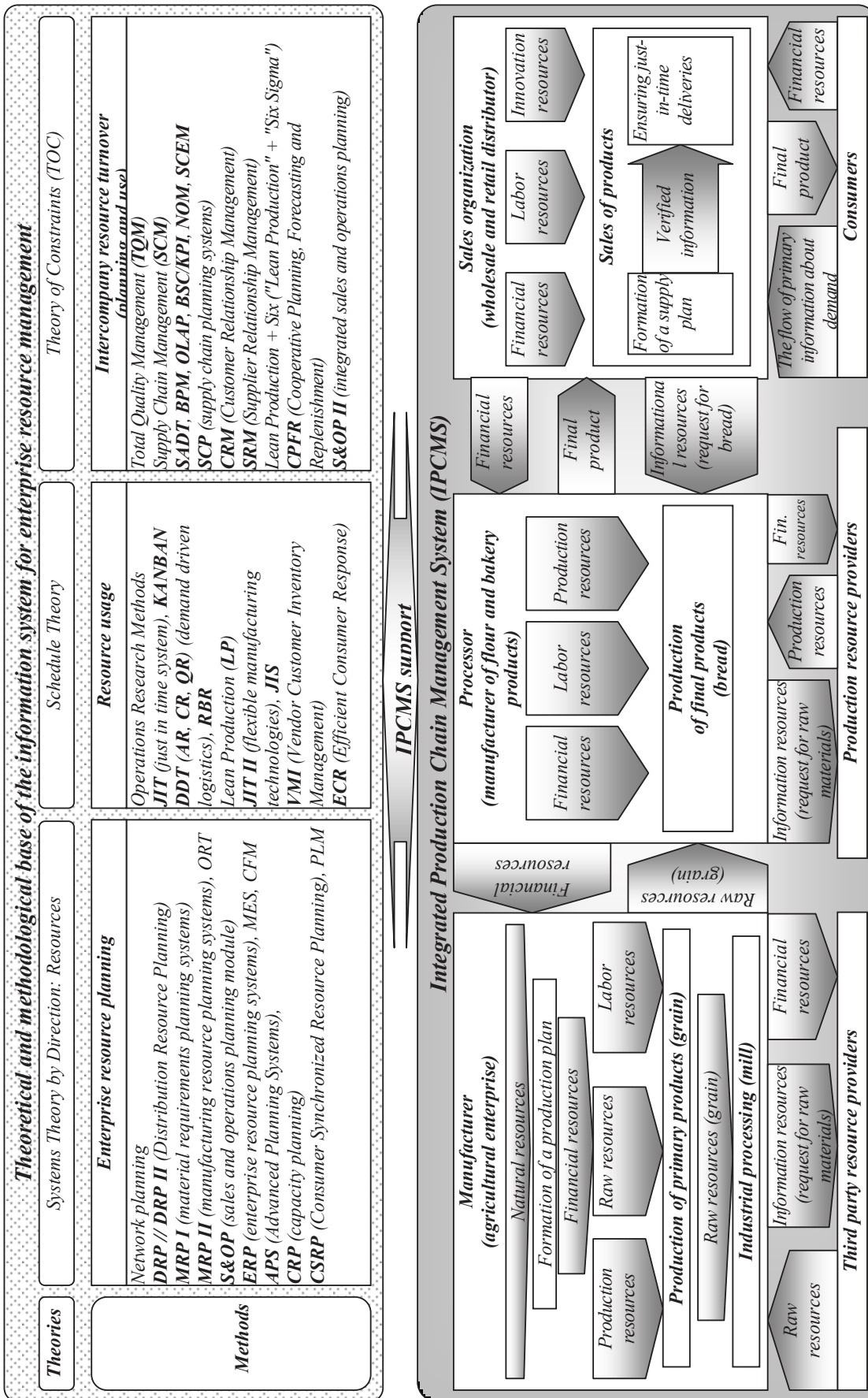


Fig. 2. The system of integrated management of the production chain of interconnected enterprises
 Source: developed by the authors

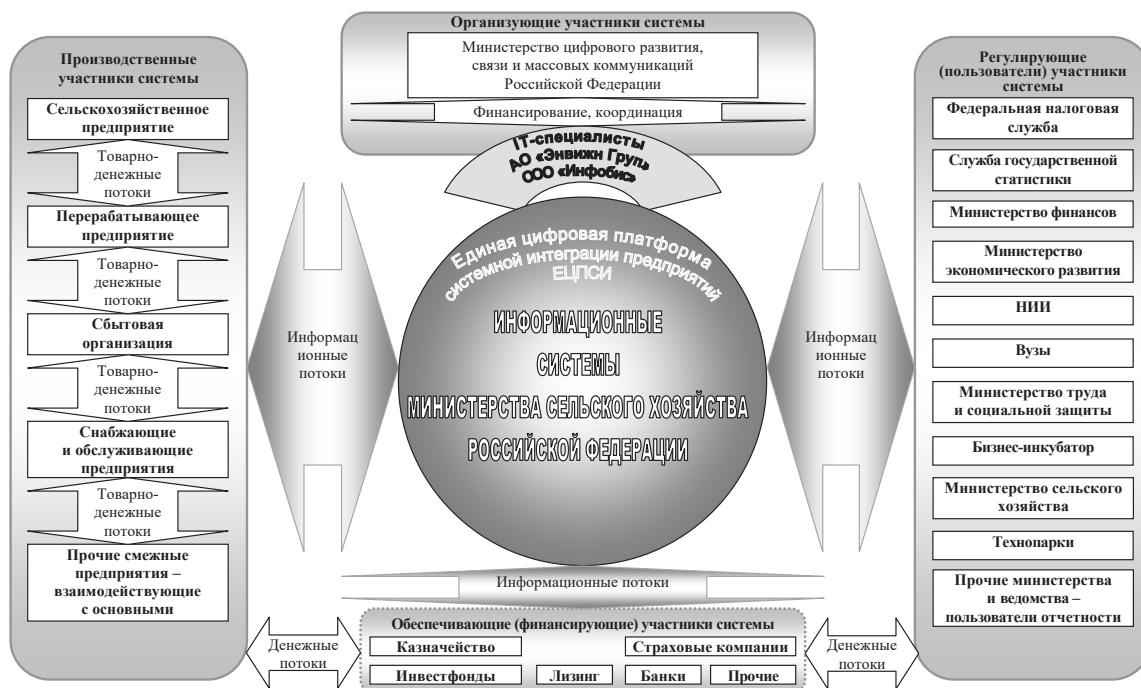


Рис. 3. Единая платформа системной интеграции предприятий АПК
Источник: разработано авторами

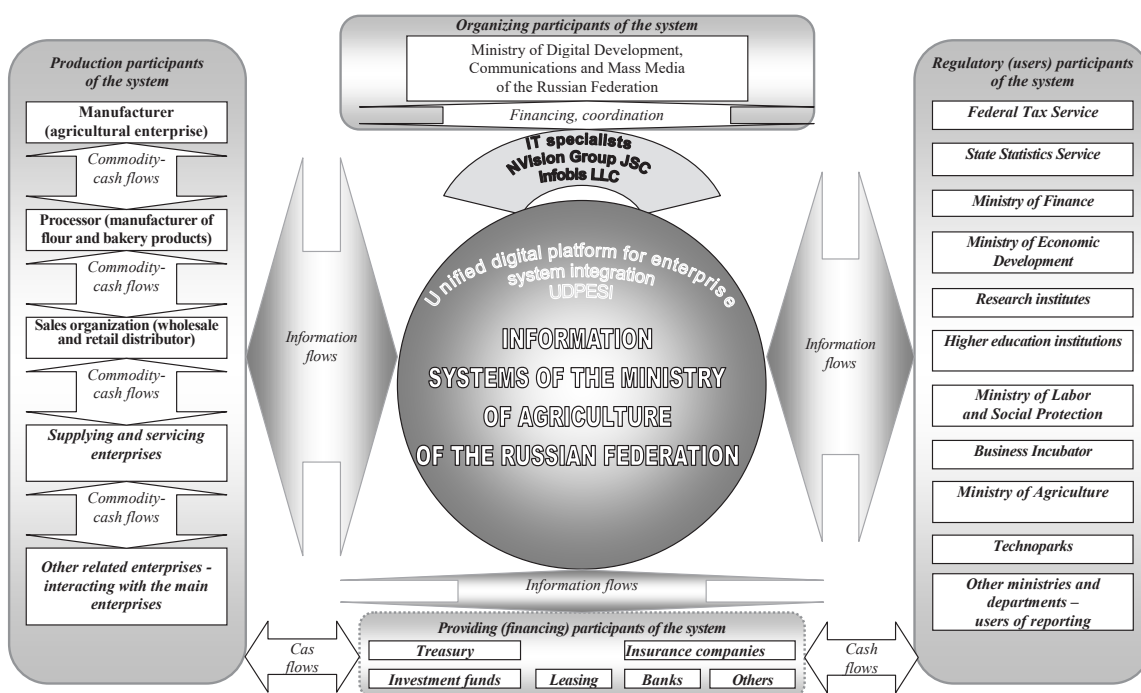


Fig. 3. Unified platform for system integration of agro-industrial enterprises
Source: developed by the authors

Представленная интегрированная информационная система позволяет осуществлять в онлайн-режиме мониторинг состояния ресурсного портфеля организации на всех этапах технологических процессов, производить его своевременную корректировку в случае выявления дефицита, избытка или необходимости реновации какой-либо ресурсной составляющей. Современные системы дают

возможность вести учет на уровне конкретных товарных позиций, единиц оборудования и отдельных исполнителей.

В рамках создаваемой интегрированной информационной системы возможно осуществление планирования размеров и движения материальных потоков на протяжении всей цепочки создания продукта и применение сложных алгоритмов в целях

оптимизации использования ресурсов бизнес-единиц. В случае многократного и оперативного внесения изменений в планы организациям целесообразно внедрять системы планирования потребности в материалах (Material Requirements Planning, MRP). Указанные микрологистические системы позволяют учесть отклонения, зафиксированные в течение текущего дня, при составлении плана на следующий день.

Рост эффективности деятельности субъектов агробизнеса, объединенных интегрированной информационной системой, обеспечивается за счет использования интерфейсов сопряжения логистическо-транспортных систем и систем обработки данных, поступающих благодаря обратной связи «покупатель → производитель» и позволяющих нивелировать негативное влияние нестабильности потребительского спроса. Отмеченные колебания, фиксируемые в системах планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP), инспирируют корректировку производственных графиков с целью гармонизации объема произведенной продукции и спроса.

К положительным результатам системной интеграции для предприятий АПК следует также отнести:

- акселерацию движения и анализа информационных потоков как внутри, так и между субъектами агробизнеса, исключение искажений при передаче и обработке данных;
- внедрение систем комплексной автоматизации бизнес-единиц и, как следствие, оптимизацию длительности производственного цикла;
- сокращение транзакционных издержек предприятий-партнеров;
- повышение согласованности и синхронизацию деятельности предприятий-участников, рост эффективности их функционирования ввиду свободного доступа к информационным ресурсам, обеспечения прозрачности и оптимизации бизнес-процессов;
- реализацию процессов быстрого реагирования на сигналы о колебаниях рыночного спроса, поступающие в реальном или близком к реальному времени, в целях инициации мероприятий по координации и пополнению складских запасов производителей и торговых организаций (корректировка производственных планов и планов закупки, маневрирование производственными мощностями).

Завершающим этапом системной интеграции сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых предприятий является их объединение на базе Единой цифровой платформы системной интеграции (ЕЦПСИ), имплицитующей комплексную интеграцию информации, финансов и операторов (рис. 3). В настоящее время в рамках активно реализуемой комплексной программы цифровой

трансформации и системной интеграции в АПК разработана Стратегия цифрового развития, имплицитующая ликвидацию бумажного документооборота, акселерацию информационного обмена между субъектами агробизнеса, автоматизацию мониторинга и контроля их хозяйственной деятельности, комплексную цифровизацию государственных услуг, в том числе в части предоставления государственной поддержки.

В настоящее время различными министерствами и ведомствами, в том числе Минсельхозом РФ, создан ряд информационных систем, однако они охватывают лишь отдельные спектры информации (например, регистрация техники, субсидии, земли сельскохозяйственного назначения и т. д.). Отличие от используемых систем и оригинальность предлагаемого платформенного решения заключается в том, что оно позволит упростить процесс осуществления хозяйственной деятельности и получения государственных (в том числе финансовых) услуг посредством интеграции в специализированные системы и значительно сократит трудозатраты при осуществлении оперативного управления АПК на всех уровнях.

Вместе с тем при построении информационных систем необходимо учитывать возможные случайные, субъективные и объективные риски информационной безопасности, или ИБ (Information Security, или InfoSec), включая риски хранения, передачи, корректности, потери и утечки данных. При этом требования к обеспечению различных аспектов ИБ устанавливаются целым рядом нормативных актов РФ. В целях предотвращения несанкционированного доступа к информации, ее использования, раскрытия, искажения и уничтожения требуется проведение мероприятий по аудиту и управлению рисками ИБ в соответствии с международными и отечественными методиками и стандартами. Систему управления рисками ИБ можно строить на основе процессной модели, моделях CRAMM (CCTA (Central Computer and Telecommunications Agency) Risk Analysis & Management Method – метод анализа и управления рисками Центрального агентства вычислительной техники и телекоммуникаций), FRAP (Facilitated Risk Analysis Process – упрощенный процесс анализа рисков), OCTAVE (Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation – критическая для эксплуатации оценка угроз, активов и уязвимостей) и т. п.

Все это позволит выявить уязвимости системы и управлять как уже зарегистрированными в нескольких реестрах – БДУ ФСТЭК России (Банк данных угроз безопасности информации), CERT/CC VND (Vulnerability Notes Database – База данных записей об уязвимостях), MITRE CVE (Common Vulnerabilities and Exposures – Распространенные уязвимости и риски), NIST NVD (National

Vulnerability Database – Национальная база данных уязвимостей), так и еще не классифицированными.

Итоговое устранение рисков ИБ возможно обеспечивать за счет внедрения комплексных систем DLP – Data Loss Prevention (Предотвращение потери данных), SIEM – Security information and event management (Информация о безопасности и управление событиями) как объединение двух аббревиатур: SIM – Security information management (Управление информацией о безопасности) и SEM – Security event management (Управление событиями безопасности), а также отдельных решений из ряда антивирусов и сетевых экранов (брандмауэр, или файрвол), и конкретных методов защиты посредством резервного копирования, распределенного реестра (Distributed Ledger Technology, DLT), шифрования данных и др.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Подводя итоги, отметим, что основными результатами реализации разработанного механизма системной интеграции сельскохозяйственных, перерабатывающих и сбытовых предприятий станут:

- обеспечение доступа субъектов агробизнеса к государственным сервисам и порталам с целью разработки механизмов и мер поддержки имплантации информационно-коммуникационных технологий в региональном (локальном) АПК;
- консолидация информационных ресурсов Министерства сельского хозяйства, Министерства экономического развития и Министерства финансов РФ и регионов в целях осуществления процессов глобального планирования в отраслях и предоставления рекомендаций субъектам АПК, в том числе на базе технологий искусственного интеллекта;
- обеспечение открытости цифровых платформ (цифровое поле, стадо и др.) для агропромышленных бизнес-единиц;
- агрегирование функционала Единой цифровой платформы системной интеграции с целью организации доступа хозяйствующих субъектов к страховым и банковским продуктам, а также формирование обратной схемы коммуникаций (обращение указанных структур к предприятиям АПК с собственными предложениями);
- рост прозрачности рынков агропромышленной продукции для субъектов посредством обе-

спечения возможности отслеживать движение как сельскохозяйственного сырья, так и конечной продукции (метки, идентификаторы, устройства и др.);

- гармонизация отечественных и международных стандартов производства продукции, ее унификация;
- создание торговых платформ и систем для продвижения сельскохозяйственного сырья, продуктов первичной переработки, конечной продукции с гарантированным доступом для всех участников рынка;
- предоставление участникам платформы возможностей по совершенствованию имеющихся интегрированных информационных систем и внедрению новых информационных технологий;
- повышение экспортного потенциала отечественной продукции АПК.

Заинтересованность субъектов АПК детерминирована следующими открывающимися возможностями:

- покрытие потребности бизнес-структур в безопасных и устойчивых коммуникациях, ИТ-системах, сервисах, платформах, разработанных на базе отечественных технологий;
- финансирование и интенсификация производства отечественной техники посредством широкомасштабного применения киберфизических систем;
- инкорпорирование зарубежной техники в отечественные платформы.

Создание предложенной платформы позволит организовать взаимодействие между всеми субъектами рынка агропромышленной продукции, поскольку она будет интегрировать информацию из различных источников, обеспечивая свободный доступ к ней предприятиям АПК. Реализация данной инициативы подразумевает наличие массивов оперативных и достоверных отраслевых данных, а также формирование эффективных алгоритмов их анализа на базе технологий искусственного интеллекта. Кроме того, Единая цифровая платформа системной интеграции станет площадкой для получения средств государственной поддержки и предоставления отчетности по ней в электронном виде, что заметно сократит сроки ожидания.

Библиографический список

1. Новиков И. С., Алешина Е. А., Сердобинцев Д. В. Цифровизация бизнес-процессов сельскохозяйственного предприятия // Научное обозрение: теория и практика. 2021. Т. 11. № 6 (86). С. 1542–1562. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-6-1542-1562.
2. Сердобинцев Д. В., Алешина Е. А., Новиков И. С. Особенности кадрового обеспечения процессов цифровизации АПК // Научное обозрение: теория и практика. 2021. Т. 11. № 7 (87). С. 2103–2121. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-7-2103-2121.
3. Novikov I. S., Serdobintsev D. V., Aleshina E. A. Conceptual approaches to information transformation (digitalization) of an agricultural enterprise // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 2021. Vol. 21 (2). Pp. 425–436.

4. Отмахова Ю. С., Усенко Н. И. Цифровизация и новые подходы к управлению агропродовольственным комплексом // Пищевая промышленность. 2019. № 12. С. 35–38. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10192.
5. Отмахова Ю. С., Асавасанти С. Возможности цифровой трансформации в пищевой индустрии // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20. № 1. С. 116–127. DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-1-116-127.
6. Gusakova E. P., Shchutskaya A. V., Afanaseva E. P. Digital Technologies as a Tool for Solving Basic Industrial Problems in the Agro-Industrial Complex // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. No. 84. Pp. 172–179. DOI: 10.1007/978-3-030-27015-5_22.
7. Юрченко И. Ф. Приоритетные направления цифровизации технологических процессов агропроизводства на мелиорируемых землях // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. № 2. С. 122–135. DOI: 10.24411/2658-3569-2020-10037.
8. Меденников В. И. От концепции к практической реализации единой цифровой платформы агропромышленного комплекса // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63. № 5 (377). С. 77–81. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15099.
9. Меденников В. И. Принципы формирования единой цифровой платформы страны // Цифровая экономика. 2018. № 4 (4). С. 31–37. DOI: 10.34706/DE-2018-04-03.
10. Ерешко Ф. И., Меденников В. И. Формирование цифровой платформы АПК // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. Москва: ИПМ им. М. В. Келдыша. 2018. С. 65–73. DOI: 10.20948/future-2018-10.
11. Medennikov V. I. Mathematical formation model of the logistic digital platform in the agro-industrial complex // CEUR Workshop Proceedings. International Workshop on Advances in Information Systems, Mathematical Modeling, and IT Applications in Industry. Barnaul, 2021. Vol. 3040. Pp. 96–105.
12. Ганиева И. А. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: консолидация государства и агробизнеса // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 5–7. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10401.
13. Kolesnikov A. V., Orlova I. V., Kamchatova E. Y., Babeshko L. O., Serebrennikova A. B. Directions of digital technologies development in the supply chain management of the Russian economy // International Journal of Supply Chain Management. 2020. No. 9 (4). Pp. 820–827. DOI: 10.59160/ijscm.v9i4.5218.
14. Kolesnikov A. V., Zaripova I. R., Kamchatova E., Panko Y. V., Kamanina R. V. The use of the digital supply chain tool in the real sector of the economy // International Journal of Supply Chain Management. 2020. No. 9 (4). Pp. 836–848. DOI: 10.59160/ijscm.v9i4.5220.
15. Sintsova E., Vitsko E. Assessment and recommendations on resource provision for the agricultural sector of the Leningrad Region // ACM International Conference Proceeding Series. International Scientific Conference on Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service. Saint Petersburg, 2020. Article number 18. DOI: 10.1145/3446434.3446436.
16. Цифровая экономика: 2023: краткий статистический сборник. Москва: НИУ ВШЭ, 2023. 120 с.
17. Сердобинцев Д. В., Алешина Е. А. Организационно-экономический механизм цифровизации агропромышленного комплекса // Научное обозрение: теория и практика. 2021. Т. 11. № 6 (86). С. 1574–1588. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-6-1574-1588.
18. Serdobintsev D. V., Aleshina E. A. The mechanism of digital transformation of agribusiness in Russia // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 2022. Vol. 22. Issue 2. Pp. 639–648.
19. Научные основы развития агропромышленного комплекса: монография / Е. Ф. Заворотин [и др.]. Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2020. 210 с.
20. Bellman R., Gross O. Some combinatorial problems arising in the theory of multistage processes // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1945. Vol. 2. No. 3. Pp. 34–41.
21. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1956. Vol. 4. No. 3. Pp. 87–95.
22. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1956. Vol. 4. Pp. 168–205.
23. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included // Naval Research Logistics Quarterly. 1954. Vol. 1. Pp. 61–68.
24. Penrose E. T. The Theory of the Growth of the Firm. Oxford: Oxford University Press, 1959. 304 p.
25. Wernerfelt B. A resource-based view of the firm // Strategic Management Journal. 1984. Vol 5. No. 2. Pp. 171–180.
26. Rumelt R. P. Theory, Strategy and Entrepreneurship. The Competitive Challenge. New York: Springer, 1987. 276 p.
27. Rumelt R. P. Toward a strategic theory of the firm // Competitive strategic management. 1984. No. 26. Pp. 556–570.

Об авторах:

Елена Александровна Алешина, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ПНИИЭО АПК), Саратов, Россия; ORCID 0000-0002-0977-7110, AuthorID 257801. *E-mail: aleshina-80@mail.ru*

Дмитрий Валерьевич Сердобинцев, кандидат экономических наук, руководитель подразделения, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ПНИИЭО АПК), Саратов, Россия; ORCID 0000-0003-4023-3143, AuthorID 592113. *E-mail: dvss@bk.ru*

References

1. Novikov I. S., Aleshina E. A., Serdobintsev D. V. Digitization of business processes of an agricultural enterprise. *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika*. 2021; 11 (6): 1542–1562. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-6-1542-1562. (In Russ.)
2. Serdobintsev D. V., Aleshina E. A., Novikov I. S. Features of staffing of digitalization processes of agro-industrial complex. *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika*. 2021; 11 (7): 2103–2121. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-7-2103-2121. (In Russ.)
3. Novikov I. S., Serdobintsev D. V., Aleshina E. A. Conceptual approaches to information transformation (digitalization) of an agricultural enterprise. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2021; 21 (2): 425–436.
4. Otmakhova Yu. S., Usenko N. I. Digitization and new approaches to the management of agro-food complex. *Food Industry*; 2019; 12: 35–38. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10192. (In Russ.)
5. Otmakhova Yu. S., Asavasanti S. Possibilities of Digital Transformation in Food Industry. *World of Economics and Management*. 2020; 20 (1): 116–127. DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-1-116-127. (In Russ.)
6. Gusakova E. P., Shchutskaya A. V., Afanaseva E. P. Digital Technologies as a Tool for Solving Basic Industrial Problems in the Agro-Industrial Complex. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020; 84: 172–179. DOI: 10.1007/978-3-030-27015-5_22.
7. Yurchenko I. F. Priority directions on digitalization of the agricultural technological processes in the reclaimed lands. *International Journal of Applied Science and Technology "Integral"*. 2020; 2: 122–135. DOI: 10.24411/2658-3569-2020-10037. (In Russ.)
8. Medennikov V. I. From concept to practical implementation of a single digital platform of agricultural industry. *International Agricultural Journal*. 2020; 63 (5): 77–81. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15099. (In Russ.)
9. Medennikov V. I. Principles of formation of a single digital platform of the country. *Digital Economy*. 2018; 4 (4): 31–37. DOI: 10.34706/DE-2018-04-03. (In Russ.)
10. Ereshko F. I., Medennikov V. I. Formation of the digital platform of the agro-industrial complex. *Designing the future. Problems of digital reality: proceedings of the 1st International Conference*. Moscow, 2018. Pp. 65–73. DOI: 10.20948/future-2018-10. (In Russ.)
11. Medennikov V. I. Mathematical formation model of the logistic digital platform in the agro-industrial complex. *CEUR Workshop Proceedings*. International Workshop on Advances in Information Systems, Mathematical Modeling, and IT Applications in Industry. Barnaul, 2021. Vol. 3040. Pp. 96–105.
12. Ganieva I. A. Digital Transformation of Agriculture in Russia: Consolidation of the State and Agribusiness. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019; 33 (4): 5–7. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10401. (In Russ.)
13. Kolesnikov A. V., Orlova I. V., Kamchatova E. Y., Babeshko L. O., Serebrennikova A. B. Directions of digital technologies development in the supply chain management of the Russian economy. *International Journal of Supply Chain Management*. 2020; 9 (4): 820–827. DOI: 10.59160/ijscm.v9i4.5218.
14. Kolesnikov A. V., Zaripova I. R., Kamchatova E., Panko Y. V., Kamanina R. V. The use of the digital supply chain tool in the real sector of the economy. *International Journal of Supply Chain Management*. 2020; 9 (4): 836–848. DOI: 10.59160/ijscm.v9i4.5220.
15. Sintsova E., Vitsko E. Assessment and recommendations on resource provision for the agricultural sector of the Leningrad Region. *ACM International Conference Proceeding Series. International Scientific Conference on Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service*. Saint Petersburg, 2020. Article number 18. DOI: 10.1145/3446434.3446436.
16. Digital Economy: 2023: a brief statistical collection. Moscow: NRU HSE, 2023. 120 p. (In Russ.)

17. Serdobintsev D. V., Aleshina E. A. Organization-economic mechanism of digitalization of the agroindustrial complex. *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika*. 2021; 11 (6): 1574–1588. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-6-1574-1588. (In Russ.)
18. Serdobintsev D. V., Aleshina E. A. The mechanism of digital transformation of agribusiness in Russia. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2022; 22 (2): 639–648.
19. Scientific foundations of the development of the agro-industrial complex. Saratov: Publishing house “Saratov source”, 2020. 210 p. (In Russ.)
20. Bellman R., Gross O. Some combinatorial problems arising in the theory of multistage processes. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*. 1945; 2 (3): 34–41.
21. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*. 1956; 4 (3): 87–95.
22. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*. 1956; 4 (3): 168–205.
23. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1954; 1: 61–68.
24. Penrose E. T. *The Theory of the Growth of the Firm*. Oxford: Oxford University Press, 1959. 304 p.
25. Wernerfelt B. A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*. 1984; 5 (2): 171–180.
26. Rumelt R. P. *Theory, Strategy and Entrepreneurship. The Competitive Challenge*. New York: Springer New York, 1987. 276 p.
27. Rumelt R. P. Toward a strategic theory of the firm. *Competitive strategic management*. 1984; 26: 556–570.

Authors' information:

Elena A. Aleshina, candidate of economic sciences, associate professor, leading researcher, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences” (PSRIOAIC), Saratov, Russia; ORCID 0000-0002-0977-7110, AuthorID 257801. *E-mail: aleshina-80@mail.ru*

Dmitriy V. Serdobintsev, candidate of economic sciences, director, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences” (PSRIOAIC), Saratov, Russia; ORCID 0000-0003-4023-3143, AuthorID 592113. *E-mail: dvss@bk.ru*

Человеческий капитал в АПК: занятость и доходы на примере северных районов Краснодарского края

Н. А. Асанова, И. Ю. Захарова[✉]

Краснодарский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», Краснодар, Россия

[✉]E-mail: zaharova71-15@mail.ru

Аннотация. Цель – изучение тенденций человеческого капитала в АПК северных районов Краснодарского края. **Методы.** На основе концептуального, комплексного анализа шести северных районов Кубани обоснованы причины уменьшения численности граждан, рассмотрены занятость, образование, доходы населения, выявлены особенности расселения. Для объективного анализа были использованы статистические данные за пять лет по муниципальным образованиям. **Результаты.** Используя научно обоснованные подходы, а также собственные выводы, на основании макроэкономических тенденций исследован вопрос влияния человеческого фактора в развитии АПК. Выявлены причины снижения численности населения северных районов; определены направления миграционных потоков; отмечены общемировые тенденции старения населения и, как следствие, увеличение нагрузки на трудоспособное население. Обоснованы критерии безработицы в муниципальных образованиях. Затронуты причины снижения занятого в АПК населения, которые обусловлены внедрением новых технологий и заменой механического труда автоматизированным. Рассмотрены основные растениеводческие, животноводческие предприятия, а также предприятия по переработке сельхозпродукции в северных районах Кубани. Выявлена отрицательная динамика доходов населения, занятого в АПК, что существенно сказывается на нереализованности проектов по привлечению трудоспособного молодого населения в сельские поселения. Определены перспективы привлечения граждан для проживания в сельских муниципалитетах. **Научная новизна** заключается в исследовании северных районов Краснодарского края, группировке их на основании общих тенденция развития человеческого капитала в каждом муниципальном образовании. Обоснована необходимость рассмотрения данных районов в едином контексте и применения к ним единых перспективных методов развития, способствующих использованию человеческого капитала.

Ключевые слова: человеческий капитал, занятость населения, доходы населения, агропромышленный комплекс

Для цитирования: Асанова Н. А., Захарова И. Ю. Человеческий капитал в АПК: занятость и доходы на примере северных районов Краснодарского края // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 248–259. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-248-259>.

Дата поступления статьи: 23.08.2023, **дата рецензирования:** 26.09.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Human capital in the agro-industrial complex: employment and income on the example of the northern regions of the Krasnodar Territory

N. A. Asanova, I. Yu. Zakharova✉

Krasnodar Cooperative Institute (branch) of Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Central Union of the Russian Federation

“Russian University of Cooperation”, Krasnodar, Russia

✉E-mail: zaharova71-15@mail.ru

Abstract. The purpose is to study of human capital trends in the agro-industrial complex in the northern regions of the Krasnodar Territory. **Methods.** On the basis of a conceptual, comprehensive analysis of the six northern regions of the Kuban, the reasons for the decrease in the number of citizens are justified, employment, education, incomes of the population are considered, features of resettlement are identified. For objective analysis, statistics for five years for municipalities were used. **Results.** Using scientifically based approaches, as well as its own conclusions, based on macroeconomic trends, the issue of the influence of the human factor in the development of the agro-industrial complex was investigated. The reasons for the decline in the population of the northern regions were revealed; directions of migration flows are defined; noted global trends in population aging and, as a result, an increase in the burden on the able-bodied population. The criteria for unemployment in municipalities are justified. The reasons for the decline in the population employed in the agro-industrial complex, which are due to the introduction of new technologies and the replacement of mechanical labor by automated one, are affected. The main crop, livestock enterprises, as well as enterprises for the processing of agricultural products in the northern regions of the Kuban were considered. Negative dynamics of incomes of the population employed in the agro-industrial complex was revealed, which significantly affects the unrealized of projects to attract the able-bodied young population to rural settlements. The prospects for attracting citizens to live in rural municipalities have been determined. **The scientific novelty** lies in the study of the northern regions of the Krasnodar Territory, their grouping on the basis of the general tendency of human capital development in each municipality. The need to consider these areas in a single context and apply to them common promising development methods that contribute to the use of human capital is justified.

Keywords: human capital, employment of the population, incomes of the population, agro-industrial complex

For citation: Asanova N. A., Zakharova I. Yu. Human capital in the agro-industrial complex: employment and income on the example of the northern regions of the Krasnodar Territory. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 248–259. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-248-259>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.08.2023, **date of review:** 26.09.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Краснодарский край – аграрный регион России, в котором выращивают зерновые, масличные, технические, кормовые, садовые, овощные культуры, развито животноводство, осуществляется переработка сельскохозяйственного сырья. В северных районах края агропромышленный комплекс (АПК) является отраслью специализации [1, с. 2089]. Вклад Кубани по основным сельскохозяйственным культурам составляет от 11 до 74 %, более 150 видов товаров АПК экспортируется в 135 стран мира, поэтому можно говорить о значительной роли сельского хозяйства края для всей России. Исходя из этого население, работающее во всех его отраслях, является тем капиталом, который поддерживает стратегическую безопасность страны [2, с. 366]. Согласно

современным потребностям, человеческие ресурсы должны обладать высокой технической грамотностью, аналитическим мышлением, креативностью, что существенно повышает их ценность на рынке труда [3, с. 304]. Рост и развитие сельских территорий происходят за счет квалифицированных кадров, поэтому необходимо комплексное изучение показателей занятости, анализ доходов, выявление проблем, обозначение перспектив для населения северных районов Краснодарского края, занятого в АПК.

Методология и методы исследования (Methods)

В исследовании применялись комплексный системный подход и метод статистического анализа процессов и явлений при использовании данных Федеральной службы государственной статистики.

Проблемами трудовых ресурсов сельских территорий занимались многие российские ученые (В. В. Хоружий, Е. Н. Клочко, С. Н. Харченко, А. Ю. Медведева, Л. В. Коваленко, Т. А. Тетеринец, С. И. Черных, Г. П. Бутко, Ю. В. Лысенко, О. Н. Сапарова, И. О. Николаева, М. В. Васюкова, Н. Д. Скосырева, А. В. Зинич, И. А. Петерс, Е. А. Немкина), отмечая особенности расселения, динамику воспроизводства, миграционные потоки, востребованность специалистов исходя из потребностей производства. Но региональный аспект данной темы недостаточно проработан.

Результаты (Results)

АПК Краснодарского края представлено следующими отраслями:

1. Сельское хозяйство. В его структуре на растениеводство приходится 75 %, на животноводство – 25 %. Посевная площадь в 2022 году составила 3,771 млн га, которая располагается в основном в северной и центральной частях края. Доля посевов различных культур рассмотрена на рис. 1 [4].

Наибольшие площади занимают зерновые и технические культуры (92 %).

По объемам производства зерновых культур (озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, овса, риса), технических культур (сахарной свеклы, подсолнечника), ягод и плодов Кубань занимает первое место среди субъектов Российской Федерации; второе – по выращиванию винограда и грибов; третье – по вы-

ращиванию овощей в закрытом грунте. В 2022 году в крае было произведено 12,2 % пшеницы, 69,2 % риса, 24 % сахарной свеклы, 6,8 % семян подсолнечника от валового сбора сельскохозяйственных культур страны [4].

Животноводство не менее продуктивно, чем растениеводство, и представлено скотоводством, свиноводством, птицеводством, овцеводством и пчеловодством [5, с. 170]. По производству молока край занимает третье место, по производству скота и птицы на убой – пятое среди регионов России. В 2022 году поголовье крупного рогатого скота составило 552 000 голов, свиней – 687 000, овец и коз – 245 000 [4].

2. Перерабатывающие отрасли представлены конечной переработкой зерновых и зернобобовых, технических культур, производством растительного масла, сахара, мясо-молочной, ликеро-водочной и безалкогольной продукцией, изготовлением макаронных и хлебобулочных изделий (таблица 1) [4].

Рост перерабатывающих отраслей АПК за 2022 год по сравнению с 2020 годом наблюдается в следующих производствах:

- воды минеральной – на 117,5 млн дал;
- напитков безалкогольных – на 9,4 млн дал;
- пива – на 0,9 млн дал;
- свекловичного сахара – на 387,4 тыс. тонн;
- мяса и субпродуктов домашней птицы – на 94,3 тыс. тонн;



Рис. 1. Доля посевов сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае, в процентах (2022 г.)

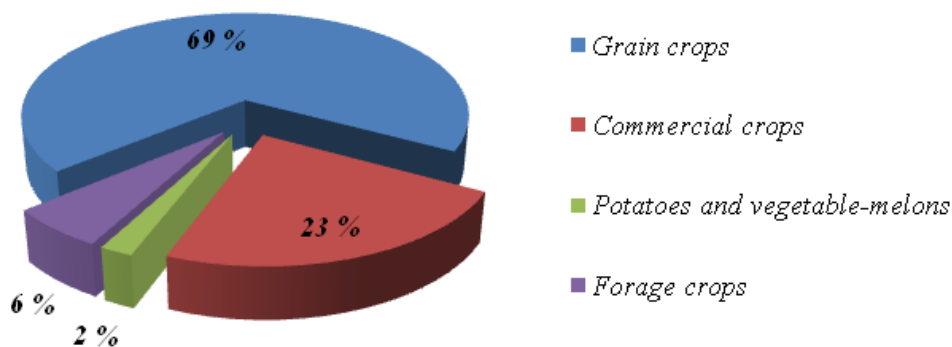


Fig. 1. Share of crops in the Krasnodar Territory, in percent (2022)

Таблица 1

Производство пищевых продуктов в Краснодарском крае, тыс. тонн

Виды пищевых продуктов	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Мясо крупного рогатого скота, свинины, баранины	112,5	118,7	119,9
Мясо и субпродукты домашней птицы	117,8	119,6	212,1
Колбасные изделия	29,8	29,1	29,3
Мясные полуфабрикаты	91,0	95,7	95,9
Рыба переработанная и консервированная	14,9	16,9	17,1
Масло растительное рафинированное и нерафинированное	1314,8	960,2	961,5
Молоко, кроме сырого	400,3	388,7	390,5
Масло, сыры, творог	54,4	53,7	53,9
Мука пшеничная и пшенично-ржаная	345,6	360,6	365,5
Крупа	347,9	396,2	397,8
Хлеб и хлебобулочные изделия	246,7	244,4	246,5
Сахар свекловичный	860,0	1245,0	1247,4
Пиво, млн дал	13,6	14,2	14,5
Воды минеральные, млн полулитров	428,2	541,0	545,7
Напитки безалкогольные, млн дал	7,4	16,2	16,8

Table 1
Food production in the Krasnodar Territory, thousand tons

Types of food	2020	2021	2022
Meat of cattle, pork, lamb	112.5	118.7	119.9
Poultry meat and offal	117.8	119.6	212.1
Sausages	29.8	29.1	29.3
Meat semi-finished products	91.0	95.7	95.9
Processed and canned fish	14.9	16.9	17.1
Refined and unrefined vegetable oil	1314.8	960.2	961.5
Milk other than raw	400.3	388.7	390.5
Butter, cheeses, cottage cheese	54.4	53.7	53.9
Wheat flour and wheat-rye	345.6	360.6	365.5
Grain	347.9	396.2	397.8
Bread and bakery products	246.7	244.4	246.5
Beetroot sugar	860.0	1245.0	1247.4
Beer, million daL	13.6	14.2	14.5
Mineral waters, million half-liters	428.2	541.0	545.7
Non-alcoholic beverages, mln daL	7.4	16.2	16.8

– производства круп – на 49,9 тыс. тонн;
 – муки пшеничной и пшенично-ржаной – на 19,9 тыс. тонн;
 – мяса крупного рогатого скота, свинины, баранины – 7,4 тыс. тонн;
 – мясных полуфабрикатов – на 4,9 тыс. тонн;
 – рыбы переработанной и консервированной – на 2,2 тыс. тонн.

Спад зарегистрирован при производстве растительного масла – на 353,3 тыс. тонн; молока – на 9,8 тыс. тонн; колбасных изделий, масла, сыров и творога – на 0,5 тыс. тонн; хлеба и хлебобулочных изделий – на 0,2 тыс. тонн.

Удельный вес перерабатывающих отраслей Краснодарского края в России составляет более 43 % игристых и шампанских вин; 24,4 % – круп;

свекловичного сахара – 21,1 %; фруктовых и овощных соков – 15,7 %; подсолнечного масла – 9,6 %; сгущенного молока – 6,3 %.

Анализируя динамику перерабатывающих отраслей, можно сделать вывод о росте большей части производств и значительном их вкладе в общероссийский АПК [6, с. 127].

На Кубани торговля сельскохозяйственной и перерабатывающей продукцией обеспечена транспортной доступностью (развиты морской, автомобильный и железнодорожный транспорт) и многофункциональными логистическими центрами [7, с. 15]. Наряду с оптовыми базами торговля осуществляется на розничных рынках и ярмарках. Индексы физического объема розничной торговли продукцией сельского хозяйства рассмотрены в таблице 2 [4].

Таблица 2

Индексы объема розничной торговли в Краснодарском крае в процентах к предыдущему году

Продажи	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Мясо и мясные продукты	112	104	97	100	102
Рыба, ракообразные и моллюски	103	107	104	110	112
Животные масла и жиры	94	97	97	102	103
Растительные масла	105	113	106	105	104
Молоко	103	103	96	110	111
Сыры	100	103	118	109	110
Яйца	100	101	100	92	93
Сахар	112	101	102	79	80
Кондитерские изделия	104	100	81	98	99
Хлеб и хлебобулочные изделия	100	100	94	89	92
Картофель	102	100	104	102	103
Овощи свежие	104	106	92	93	94
Фрукты свежие	100	103	95	104	105

ЭКОНОМИКА

Table 2

Retail volume indices in the Krasnodar Territory as a percentage of the previous year

Sales	2018	2019	2020	2021	2022
Meat and meat products	112	104	97	100	102
Fish, crustaceans and molluscs	103	107	104	110	112
Animal oils and fats	94	97	97	102	103
Vegetable oils	105	113	106	105	104
Milk	103	103	96	110	111
Cheeses	100	103	118	109	110
Eggs	100	101	100	92	93
Sugar	112	101	102	79	80
Confectionery	104	100	81	98	99
Bread and bakery products	100	100	94	89	92
Potatoes	102	100	104	102	103
Fresh vegetables	104	106	92	93	94
Fresh fruit	100	103	95	104	105

Таблица 3

Общие характеристики северных районов Краснодарского края

Районы	Административный центр, станица	Площадь, км ²	Население, чел	Средняя плотность, чел/км ²	Количество сельский поселений
Каневской	Каневская	2 485,8	100 494	39,8	38
Крыловский	Крыловская	1 363,1	34 785	24,8	30
Кушевский	Кушевская	2 372,2	64 385	27,1	74
Ленинградский	Ленинградская	1 416,2	62 503	42,1	33
Павловский	Павловская	1 788,8	62 845	35,1	29
Староминский	Староминская	1 060,3	40 008	37,4	21

Table 3

General characteristics of the northern regions of the Krasnodar Territory

Region	Administrative center, village	Area, km ²	Population, people	Average density, people/km ²	Number of rural settlements
Kanevskoy	Kanevskaya	2 485.8	100 494	39.8	38
Krylovskiy	Krylovskaya	1 363.1	34 785	24.8	30
Kushchevskiy	Kuschevskaya	2 372.2	64 385	27.1	74
Leningradskiy	Leningradskaya	1 416.2	62 503	42.1	33
Pavlovskiy	Pavlovskaya	1 788.8	62 845	35.1	29
Starominskiy	Starominskyaya	1 060.3	40 008	37.4	21

Динамика численности населения северных районов Краснодарского края, чел (2018–2022 гг.)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Каневской	103 367	103 130	102 655	102 233	100 494
Крыловский	35 604	35 422	35 232	35 135	34 785
Кушевский	65 827	65 810	65 620	65 371	64 385
Ленинградский	63 420	63 264	63 318	63 145	62 503
Павловский	66 515	65 842	65 085	64 545	62 845
Староминский	40 761	40 708	40 640	40 608	40 008

Table 4

Dynamics of the population of the northern regions of the Krasnodar Territory, people (2018–2022)

Region	2018	2019	2020	2021	2022
Kanevskoy	103 367	103 130	102 655	102 233	100 494
Krylovskiy	35 604	35 422	35 232	35 135	34 785
Kushchevskiy	65 827	65 810	65 620	65 371	64 385
Leningradskiy	63 420	63 264	63 318	63 145	62 503
Pavlovskiy	66 515	65 842	65 085	64 545	62 845
Starominskii	40 761	40 708	40 640	40 608	40 008

Из 13 наименований сельскохозяйственной продукции по шести анализируется рост индекса розничной торговли.

Оптовые продажи осуществляются не только по территории России, но и за ее пределы.

Таким образом, можно констатировать, что АПК Краснодарского края является отраслью специализации, обеспечивая население не только продукцией, но и рабочими местами [8, с. 225].

Важность анализа населения Кубани (численный состав, естественный и механический прирост/убыль, уровень образования, занятость, доходы) – все эти показатели необходимы для реализации долгосрочных программ развития отраслей АПК [9, с. 98].

Орографические и агроклиматические условия позволили разделить территорию Краснодарского края на несколько частей с определенной специализацией хозяйства [10, с. 230].

Северные районы (к ним относятся Староминский, Кушевский, Каневской, Ленинградский, Крыловский, Павловский) расположены на черноземных почвах, в теплом умеренном климате, что обусловило их аграрную специализацию. Общие характеристики районов представлены в таблице 3 [4].

Наибольший по площади и числу жителей – Каневской район, при этом по количеству сельских поселений он уступает Кушевскому, а по плотности – Ленинградскому району. Наименьший по площади и числу поселений – Староминский район.

Население районов занято в растениеводстве, животноводстве, перерабатывающих отраслях, но за последние 30 лет произошли глубокие кардинальные изменения [11, с. 486]:

1. Снижение численности населения (таблица 4) [4].

Значительное уменьшение населения в 2022 по сравнению с 2018 годом отмечено в Павловском

районе (на 3670 человек), чуть более чем на 2800 – в Каневском, на 1442 человека – в Кушевском районе, менее чем на 1000 человек – в Крыловском, Ленинградском и Староминском районах. Подобная тенденция обусловлена миграционным оттоком и естественной убылью. Несмотря на проводимую государственную политику по увеличению рождаемости (единовременные выплаты на первого и второго ребенка), а также краевую программу при рождении третьего ребенка (обеспечение земельным участком), общая численность населения уменьшается из-за роста смертности населения (особенно в 2020 и 2021 годах) [12, с. 38].

2. Уменьшение числа жителей в трудоспособном возрасте происходит за счет внутренних миграций в города Краснодарского края с целью трудоустройства. Трудовая миграция выявляет значительные проблемы в каждом районе [13, с. 340]:

– муниципальные органы не проводят политику на целевое обучение выпускников по конкретным профессиям, требующимся в АПК районов;

– вернувшиеся выпускники вузов и среднего профессионального образования не востребованы из-за отсутствия больших производств, а также экономики малыми предприятиями на найме квалифицированных работников.

3. Рост доли пенсионеров и, как следствие, увеличение нагрузки на трудоспособное население. Доля трудоспособного населения и пенсионеров в каждом из районов рассмотрена на рис. 2 [4].

По всем северным районам края доля трудоспособного населения варьирует от 55 % в Ленинградском районе (34 404 человека) до 56,1 % – в Каневском районе (56 632 человека), пенсионеров – свыше 25 %. Доля стареющего населения (старше 65 лет) превышает нормативное значение (7 %) в 1,8 раза, доказывая общемировую тенденцию старения населения Земли.

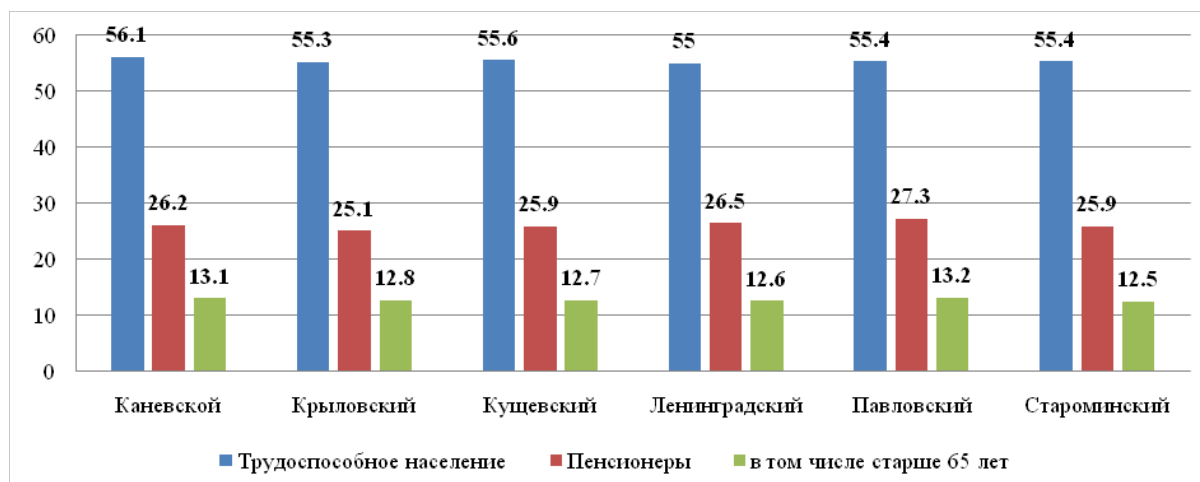


Рис. 2. Доля пенсионеров и трудоспособного населения северных районов Краснодарского края, в процентах (2022 г.)

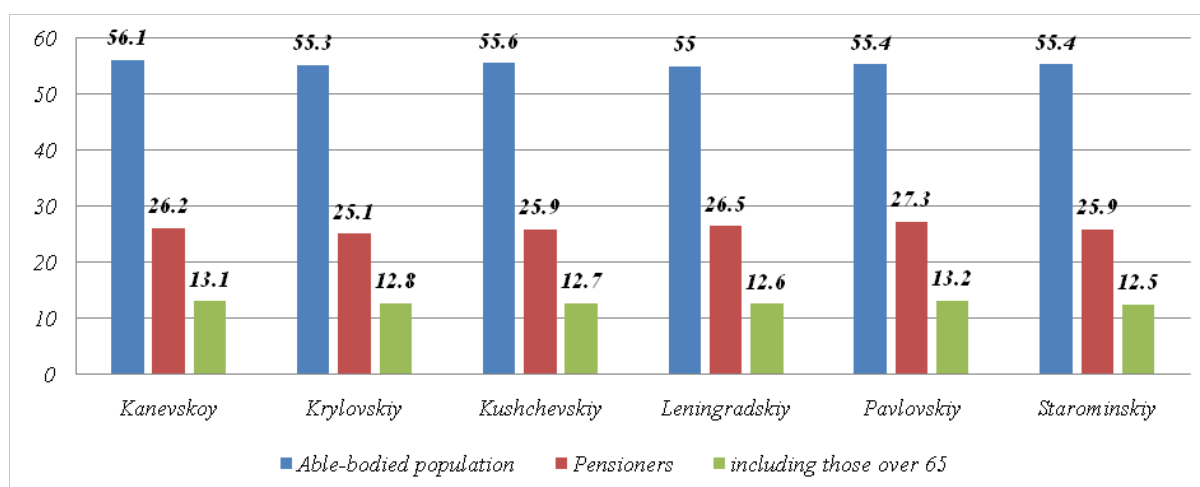


Fig. 2. The share of pensioners and the working-age population of the northern regions of the Krasnodar Territory, in percent (2022)

Таблица 5
Уровень образования населения в северных районах Краснодарского края, тыс. чел. (2022 г.)

Районы	Образование					
	Высшее	Неполное высшее	Среднее профессиональное	11 классов	9 классов	Без образования
Каневской	23,9	2,5	36,8	18,4	8,9	8,5
Крыловский	8,2	0,8	12,6	6,3	3,1	2,7
Кушевский	15,3	1,6	23,4	11,8	5,7	5,0
Ленинградский	14,8	1,5	22,6	11,3	5,9	4,8
Павловский	15,2	1,6	23,3	11,7	5,6	5,0
Староминский	9,5	1,0	14,5	7,3	3,5	5,9

Table 5
The level of education of the population in the northern regions of the Krasnodar Territory, thousand people (2022)

Region	Education					
	Higher education	Incomplete education	Secondary vocational education	11 classes	9 classes	Without education
Kanevskoy	23.9	2.5	36.8	18.4	8.9	8.5
Krylovskiy	8.2	0.8	12.6	6.3	3.1	2.7
Kushchevskiy	15.3	1.6	23.4	11.8	5.7	5.0
Leningradskiy	14.8	1.5	22.6	11.3	5.9	4.8
Pavlovskiy	15.2	1.6	23.3	11.7	5.6	5.0
Starominskiy	9.5	1.0	14.5	7.3	3.5	5.9

4. Увеличение числа граждан, имеющих высшее образование, но при этом не имеющее возможности устроиться на работу в соответствие со своей квалификацией из-за отсутствия рабочих мест или невостребованности профессии в сельской местности [14, с. 3; 15, с. 29]. Уровень образования по районам края рассмотрен в таблице 5 [4].

Среднее профессиональное и высшее образование имеют около 60 % граждан, но при этом большинство специальностей не востребовано в сельской местности, что приводит к безработице населения или оттоку в города.

Присутствует востребованность в профессиях, обслуживающих АПК, но из-за незначительной доли государственных и муниципальных производств частные предприниматели экономят на найме специалистов в области сельского хозяйства.

Средний уровень безработицы по районам не превышает 6 %. Причинами безработицы можно считать следующие:

- несоответствие ожидания и фактической оплаты труда;
- некомфортные условия работы;
- отсутствие вакансий по специальности.

Таблица 6

Количество сельскохозяйственных предприятий северных районов Краснодарского края, шт. (2020–2022 гг.)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Сельскохозяйственные предприятия					
Каневской район	15	15	13	13	13
Крыловский район	45	44	41	41	41
Кушевский район	13	12	11	11	11
Ленинградский район	7	7	7	6	6
Павловский район	12	12	11	11	11
Староминский район	18	17	16	15	15
Крестьянские фермерские хозяйства					
Каневской район	720	719	717	717	717
Крыловский район	522	521	520	520	518
Кушевский район	332	332	331	330	330
Ленинградский район	220	219	219	219	218
Павловский район	314	314	311	311	311
Староминский район	142	140	138	137	137
Личные подсобные хозяйства					
Каневской район	25 300	25 300	25 125	25 125	25 000
Крыловский район	14 220	14 123	14 011	13 966	13 950
Кушевский район	18 445	18 400	18 250	18 250	18 250
Ленинградский район	12 995	12 990	12 990	12 805	12 805
Павловский район	25 000	24 980	24 800	24 450	24 300
Староминский район	15 389	15 321	15 321	15 259	14 367

Table 6

Number of agricultural enterprises of the northern regions of the Krasnodar Territory, pcs. (2020–2022)

Region	2018	2019	2020	2021	2022
Agricultural enterprises					
Kanevskoy	15	15	13	13	13
Krylovskiy	45	44	41	41	41
Kushchevskiy	13	12	11	11	11
Leningradskiy	7	7	7	6	6
Pavlovskiy	12	12	11	11	11
Starominskiy	18	17	16	15	15
Peasant farms					
Kanevskoy	720	719	717	717	717
Krylovskiy	522	521	520	520	518
Kushchevskiy	332	332	331	330	330
Leningradskiy	220	219	219	219	218
Pavlovskiy	314	314	311	311	311
Starominskiy	142	140	138	137	137
Personal subsidiary farms					
Kanevskoy	25 300	25 300	25 125	25 125	25 000
Krylovskiy	14 220	14 123	14 011	13 966	13 950
Kushchevskiy	18 445	18 400	18 250	18 250	18 250
Leningradskiy	12 995	12 990	12 990	12 805	12 805
Pavlovskiy	25 000	24 980	24 800	24 450	24 300
Starominskiy	15 389	15 321	15 321	15 259	14 367

Таблица 7

Доходы и расходы населения северных районов Краснодарского края, руб. (2018–2022 гг.)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Ресурсы домашних хозяйств в сельской местности на 1-го члена семьи в месяц, руб.					
Ресурсы всего, из них:	26 114,4	24 692,9	25 360,2	27 111,2	27 325,9
денежный доход	23 402,6	21 730,6	22 665,0	23 796,2	24 125,2
поступления от продуктов питания	986,3	873,4	690,0	664,1	650,3
поступления от непродовольственных товаров и услуг	221,1	212,7	191,5	156,6	158,5
привлеченные средства и израсходованные сбережения	1 504,3	1 876,2	1 813,7	2 494,4	2 550,4
Расходы на потребление домашних хозяйств в сельской местности на 1-го члена семьи в месяц, руб.					
Расходы на потребление всего, в том числе:	15 115,4	16 113,5	16 013,3	18 045,8	20 677,0
питание	7 024,7	8 618,8	7 956,0	8 097,0	9 234,1
непродовольственные нужды	5 479,8	5 161,4	5 669,8	6 325,3	6 412,1
оплата услуг	4 525,0	5 119,3	4 417,2	4 577,7	4 566,9
алкогольные напитки	284,3	328,8	334,7	408,3	453,2
услуги, предоставленные работодателем	19,9	5,9	22,9	11,9	10,7

Экономика

Table 7
Incomes and expenses of the population of the northern regions of the Krasnodar Territory, rubles. (2018–2022)

Region	2018	2019	2020	2021	2022
Household resources in rural areas per 1st family member per month, RUB					
The resources of everything, of which:	26 114.4	24 692.9	25 360.2	27 111.2	27 325.9
cash income	23 402.6	21 730.6	22 665.0	23 796.2	24 125.2
food receipts	986.3	873.4	690.0	664.1	650.3
receipts from non-food products and services	221.1	212.7	191.5	156.6	158.5
funds raised and savings spent	1 504.3	1 876.2	1 813.7	2 494.4	2 550.4
Household consumption costs in rural areas per 1st family member per month, RUB					
Consumption costs of everything, including:	15 115.4	16 113.5	16 013.3	18 045.8	20 677.0
food	7 024.7	8 618.8	7 956.0	8 097.0	9 234.1
non-food needs	5 479.8	5 161.4	5 669.8	6 325.3	6 412.1
payment for services	4 525.0	5 119.3	4 417.2	4 577.7	4 566.9
alcoholic beverages	284.3	328.8	334.7	408.3	453.2
services provided by the employer	19.9	5.9	22.9	11.9	10.7

В связи с открытием высокотехнологичных предприятий АПК, необходимы кадры с высшим техническим образованием и сельскохозяйственной специализацией.

5. Уменьшение числа сельскохозяйственных, фермерских предприятий и личных подсобных хозяйств. Из-за роста цен на топливо, электроэнергию, воду, закупку семян, удобрений, кормов для животноводства многие хозяйства становятся убыточными.

Снижение сельскохозяйственных предприятий наблюдается во всех районах: в Крыловском – на 4, Староминском – на 3, Кушевском и Каневском – на 2, Ленинградском и Павловском – на 1. Уменьшение количества крестьянских фермерских хозяйств

фиксируется: в Староминском районе – 5, Крыловском – 4, Каневском и Павловском – 3, Кушевском и Ленинградском – 2. Для удержания на сельскохозяйственном рынке, данные предприятия объединяются в кооперативы. Личные подсобные хозяйства становятся банкротами и выращивают сельскохозяйственную продукцию только для собственного потребления и покрытия расходов. Уменьшение числа личных хозяйств в Староминском районе составило 1022, в Павловском – 700, Каневском – 300, Крыловском – 270, Кушевском – 195, Ленинградском – 190.

6. Снижение доли занятого населения в АПК. Подобная тенденция происходит за счет закрытия старых производств, на которых работало от десят-

ков до нескольких сотен, а иногда и тысяч человек и открытия современных робото- и автоматизированных предприятий с общим числом рабочих до 100 человек. При росте доли АПК в общем объеме производства, число занятого в нем населения – уменьшается [16, с. 18].

7. Уменьшение доходов сельского населения. За последние годы отмечается средний рост заработной платы и пенсионных начислений, но при росте инфляции можно говорить о снижении покупательской способности и росте числа жителей, проживающих за чертой бедности. Состав денежных доходов и расходов представлен в таблице 7 [4].

На основании анализа статистической информации за 2018–2022 гг., ресурсы населения в среднем увеличились на 1211,5 рубля за счет привлечения средств и израсходованных сбережений (на 1 046,1 рубля), а также за счет денежного дохода – на 722,6 рубля. Общие расходы возросли на 5 561,6 рубля, в том числе и по всем пунктам (кроме тех, которые предоставлены работодателем) в среднем от 41,9 рубля (на алкогольные напитки) до 2 209,4 рубля – на питание. Таким образом, можно констатировать снижение доходов сельского населения.

Анализ данных показывает негативные тенденции в сфере человеческого капитала, занятого в агропромышленном комплексе, что существенно влияет на формирование и развитие северных сельских территорий Краснодарского края.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По мнению авторов, назрели глубокие, кардинальные и поэтапные изменения, которые будут затрагивать человеческий капитал Кубани:

- 1) необходимо разработать долгосрочную комплексную программу развития сельских территорий, которая будет направлена на следующие сферы:
 - формирование кадрового запроса для конкретных предприятий;
 - обучение специалистов из числа местного населения;
 - изменение миграционной политики в сторону возврата в сельскую местность за счет предоставление рабочих мест, увеличения заработной платы;
 - помощь со стороны администрации тем гражданам, которые развивают народные промыслы;
 - создавать агропромышленные комплексы и холдинги, обеспечивая рабочими местами местных жителей;
- 2) сформировать благоприятный имидж сельского образа жизни, состоящий из нескольких составляющих:
 - здоровая пища;
 - экология жизни (чистый воздух, вода, растения);
- 3) продвигать экопродукты на рынках Кубани, изменяя потребительское предпочтение.

Таким образом, комплекс мер, должен способствовать изменению картины расселения и занятости в северных районах Краснодарского края.

Библиографический список

1. Voronkova O. Y., Klochko E. N., Vakhrushev I. B., Sergin A. A., Karpenko E. Z., Tavbulatova Z. K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 2087–2093.
2. Тетеринец Т. А. Человеческий капитал в АПК как фактор обеспечения продовольственной безопасности // *Азербайджан на новом этапе развития – продовольственная и пищевая безопасность в эпоху глобализации и постпандемии: текущая ситуация, вызовы, перспективы: материалы Международной научно-практической конференции*. Ленкорань, 2021. С. 365–368.
3. Васюкова М. В., Скосырева Н. Д., Зинич А. В. Человеческий капитал в условиях цифровизации экономики и АПК // *Финансовая экономика*. 2022. № 2. С. 103–106.
4. Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея [Электронный ресурс]. URL: <https://23.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 24.05.2022).
5. Шичиях Р. А., Сычева И. Н., Черных И. Н., Лебедева Е. С. Разработка маркетинговой стратегии развития животноводства // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Vol. 13. No. 5. Pp. 167–190.
6. Kashukoev M. V., Tyupakov K. E., Marieva M. A., Musayeva B. M., Misakov A. V. Features of model building for an inter-sectoral agro-industrial cluster as a quasi-integrated structure // *Ad Alta*. 2020. Vol. 10. No. 2. Pp. 126–128.
7. Ключко Е. Н., Харченко С. Н., Медведева А. Ю. Сельские территории России: современное состояние, положительные практики реабилитации депрессивного состояния // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 101. С. 13–19.
8. Tyupakov K. E., Dikinov A. Kh., Ortskhanova M. A., Musayeva K. M., Bolotina E. A. The modern paradigm of the agricultural technological process efficiency: a review // *Journal of Water and Land Development*. 2022. Vol. 53. Pp. 224–228.
9. Glotko A. V., Balabanov V. S., Balabanova A. V., Molchanova L. A., Repkina O. B., Shichiyakh R. A. Mechanisms for implementing a green economy model in a region's agro-industrial sector // *Iranian Journal of Ichthyology*. 2021. Vol. 8. No. S1. Pp. 92–101.

10. Ключко Е. Н., Коваленко Л. В. Сельские территории Российской Федерации: генерация инициатив развития со стороны населения // *Sochi Journal of Economy*. 2022. Vol. 16. No. 4. Pp. 227–236.
11. Черных С. И. Человеческий капитал АПК: состояние внешних и внутренних факторов развития // Теория и практика современной аграрной науки: сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2020. С. 483–488.
12. Avdeev Yu. M., Korobkova N. V., Klochko E. N., Meshkova G. V., Vinokurova O. E., Zatsarinnaya E. I. Methodological approach for formation of human capital in innovative conditions [e-resource] // *Revista Turismo Estudos & Práticas*. 2020. No. S5. URL: <https://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/804/766> (date of reference: 24.05.2022).
13. Тетеринец Т. А. Инвестиционный и человеческий капитал АПК: единство и борьба противоречий // Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Саратов, 2019. С. 338–341.
14. Бутко Г. П., Лысенко Ю. В., Сапарова О. Н., Николаева И. О. Человеческий капитал и его влияние на конкурентные позиции АПК // Теория и практика мировой науки. 2021. № 5. С. 2–4.
15. Бутко Г. П., Сапарова О. Н., Лысенко Ю. В., Малютин Л. В. Человеческий капитал как фактор обеспечения конкурентной устойчивости АПК // От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК: сборник статей международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2022. С. 28–31.
16. Донцова О. А., Смотрова Е. Е., Петерс И. А., Немкина Е. А. Человеческий капитал регионального АПК: особенности формирования, направления развития и механизмы поддержки // Современные проблемы науки и общества / К. Э. Ашрафьян, А. С. Данченко, Н. В. Данченко. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 16–32.

Об авторах:

Наталья Александровна Асанова, кандидат экономических наук, доцент, проректор по научной работе, Краснодарский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», Краснодар, Россия; ORCID 0000-0002-7114-2140, AuthorID 767240. E-mail: natalia9104@yandex.ru

Ирина Юрьевна Захарова, кандидат экономических наук, доцент, Краснодарский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», Краснодар, Россия; ORCID 0000-0002-3846-7357, AuthorID 518386. E-mail: zaharova71-15@mail.ru

References

1. Voronkova O. Y., Klochko E. N., Vakhrushev I. B., Sergin A. A., Karpenko E. Z., Tavbulatova Z. K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12 (1): 2087–2093.
2. Teterinets T. A. Human capital in the agro-industrial complex as a factor in ensuring food security. *Azerbaijan at a new stage of development - food and nutrition security in the era of globalization and post-pandemic: current situation, challenges, prospects: materials of the International scientific and practical conference*. Lankaran, 2021. Pp. 365–368. (In Russ.)
3. Vasyukova M. V., Skosyreva N. D., Zinich A. V. Human capital in the context of digitalization of the economy and agro-industrial complex. *Financial Economy*. 2022; 2: 103–106. (In Russ.)
4. Department of the Federal State Statistics Service for the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea [Internet]. [cited 2022 May 24]. Available from: <https://23.rosstat.gov.ru>. (In Russ.)
5. Shichiyakh R. A., Sycheva I. N., Chernykh I. N., Lebedeva E. S. Marketing strategy development for animal husbandry. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021; 13 (5): 167–190. (In Russ.)
6. Kashukoev M. V., Tyupakov K. E., Marieva M. A., Musayeva B. M., Misakov A. V. Features of model building for an inter-sectoral agro-industrial cluster as a quasi-integrated structure. *Ad Alta*. 2020; 10 (2): 126–128.
7. Klochko E. N., Kharchenko S. N., Medvedeva A. Yu. Rural territories of Russia: current state, positive practices for depression rehabilitation. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 101: 13–19. (In Russ.)
8. Tyupakov K. E., Dikinov A. Kh., Orskhanova M. A., Musayeva K. M., Bolotina E. A. The modern paradigm of the agricultural technological process efficiency: a review. *Journal of Water and Land Development*. 2022; 53: 224–228.
9. Glotko A. V., Balabanov V. S., Balabanova A. V., Molchanova L. A., Repkina O. B., Shichiyakh R. A. Mechanisms for implementing a green economy model in a region's agro-industrial sector. *Iranian Journal of Ichthyology*. 2021; 8 (S1): 92–101.

10. Klochko E. N., Kovalenko L. V. Rural Areas of the Russian Federation: Generation of Development Initiatives by the Population. *Sochi Journal of Economy*. 2022; 16 (4): 227–236. (In Russ.)
11. Chernykh S. I. Human capital of the agro-industrial complex: the state of external and internal development factors. *Theory and practice of modern agricultural science: collection of the III national (All-Russian) scientific conference with international participation*. Novosibirsk, 2020. Pp. 483–488. (In Russ.)
12. Avdeev Yu. M., Korobkova N. V., Klochko E. N., Meshkova G. V., Vinokurova O. E., Zatsarinnaya E. I. Methodological approach for formation of human capital in innovative conditions. *Revista Turismo Estudos & Práticas* [Internet]. 2020 [cited 2022 May 24]; S5. Available from: <https://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/804/766>.
13. Teterinets T. A. The investment and human capital agrarian and industrial complex: unity and fight of contradictions. *Economic and mathematical methods for analyzing the activities of agricultural enterprises: collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference*. Saratov, 2019. Pp. 338–341. (In Russ.)
14. Butko G. P., Lysenko Yu. V., Saparova O. N., Nikolayeva I. O. Human capital and its influence on the competitive positions of the agro-industrial complex. *Theory and practice of the world science*. 2021; 5: 2–4. (In Russ.)
15. Butko G. P., Saparova O. N., Lysenko Yu. V., Malyutina L. V. Human capital as a factor in ensuring the competitive sustainability of the agro-industrial complex. *From modernization to rapid development: ensuring competitiveness and scientific leadership of the agro-industrial complex. Current issues of economics and management in the agro-industrial complex: collection of articles of the international scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2022. Pp. 28–31. (In Russ.)
16. Donskova O. A., Smotrova E. E., Peters I. A., Nemkina E. A. Human capital of the regional agro-industrial complex: features of formation, directions of development and support mechanisms. *Sovremennyye problemy nauki i obshchestva*. K. E. Ashraf'yan, A. S. Danchenko, N. V. Danchenko et al. Penza: Science and Enlightenment, 2021. Pp. 16–32. (In Russ.)

Authors' information:

Nataliya A. Asanova, candidate of economic sciences, associate professor, vice-rector for research, Krasnodar Cooperative Institute (branch) of Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Central Union of the Russian Federation “Russian University of Cooperation”, Krasnodar, Russia; ORCID 0000-0002-7114-2140, AuthorID 767240. *E-mail: natalia9104@yandex.ru*

Irina Yu. Zakharova, candidate of economic sciences, associate professor, Krasnodar Cooperative Institute (branch) of Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Central Union of the Russian Federation “Russian University of Cooperation”, Krasnodar, Russia; ORCID 0000-0002-3846-7357, AuthorID 518386. *E-mail: zaharova71-15@mail.ru*

Оценка технико-технологической составляющей сельского хозяйства: методологические подходы разработки

О. В. Исаева ✉

Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Ростовская обл., п. Рассвет, Россия

✉ E-mail: olga.isaeva-84@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – обоснование необходимости проведения оценки технико-технологической составляющей сельского хозяйства, а также разработка методологических подходов ее проведения.

Методы. Для достижения поставленной цели исследования использовались такие методы научного познания, как монографический, абстрактно-логический, институциональный, анализа и синтеза, обобщения данных. Информационную и теоретико-методологическую базу составили нормативно-правовые акты и стратегические программы развития отрасли, труды отечественных и зарубежных ученых-экономистов.

Научная новизна исследования состоит в обосновании необходимости проведения оценки технико-технологической составляющей аграрного сектора страны как основы для разработки государственных проектов и программ модернизации отрасли в условиях перехода к новому технологическому укладу. Предложены методологические подходы проведения оценки уровня технико-технологического развития отрасли по трем уровням: федеральному, региональному и уровню хозяйствующего субъекта. **Результаты.** В статье обоснована необходимость проведения оценки технической и технологической составляющих сельского хозяйства. Проанализировано современное состояние отрасли сельхозмашиностроения, основные итоги ее работы в последние годы. В целях выделения проблемных мест и потенциальных точек роста отечественного сельхозмашиностроения составлен ее SWOT-анализ. Отмечается, что современный российский аграрный сектор имеет высокую зависимость от импортной техники и оборудования. Для обеспечения возможности отечественной отрасли сельхозмашиностроения в кратчайшие сроки заместить импортные поставки техники необходимо расширение и совершенствование государственной поддержки. Для проработки наиболее эффективно работающих направлений и инструментов государственной поддержки в отдельно взятом регионе необходима достоверная оценка уровня технико-технологического развития агро-сектора.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, технико-технологическая составляющая, оценка, государственная поддержка, сельхозмашиностроение, рынок сельхозтехники, SWOT-анализ


Для цитирования: Исаева О. В. Оценка технико-технологической составляющей сельского хозяйства: методологические подходы разработки // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 260–272. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-260-272>.

Дата поступления статьи: 04.05.2023, **дата рецензирования:** 07.08.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Assessment of the technical and technological component of agriculture: methodological approaches of development

O. V. Isaeva 

Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rostov region, settlement Rassvet, Russia

 E-mail: olga.isaeva-84@yandex.ru

Abstract. The purpose of the research is to substantiate the need for an assessment of the technical and technological component of agriculture, as well as the development of methodological approaches to its implementation. **Methods.** To achieve the goal of the study, such methods of scientific cognition as monographic, abstract-logical, institutional, analysis and synthesis, generalization of data were used. The information and theoretical and methodological base was made up of normative legal acts and strategic programs for the development of the industry, the works of domestic and foreign scientists and economists. **Scientific novelty.** The scientific novelty of the research consists in substantiating the need to assess the technical and technological component of the agricultural sector of the country as a basis for the development of state projects and programs for the modernization of the industry in the transition to a new technological order. Methodological approaches are proposed for assessing the level of technical and technological development of the industry at three levels: federal, regional and the level of an economic entity. **Results.** The article substantiates the need to assess the technical and technological components of agriculture. The current state of the agricultural machinery industry, the main results of its work in recent years are analyzed. In order to identify problem areas and potential growth points of domestic agricultural machinery, its SWOT analysis has been compiled. It is noted that the modern Russian agricultural sector has a high dependence on imported machinery and equipment. To ensure the ability of the domestic agricultural machinery industry to replace imported supplies of machinery in the shortest possible time, it is necessary to expand and improve state support. In order to work out the most effective working directions and tools of state support in a particular region, a reliable assessment of the level of technical and technological development of the agricultural sector is necessary.

Keywords: agro-industrial complex, technical and technological component, assessment, state support, agricultural machinery, agricultural machinery market, SWOT analysis

For citation: Isaeva O. V. Assessment of the technical and technological component of agriculture: methodological approaches of development. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 260–272. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-260-272>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.05.2023, **date of review:** 07.08.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Эффективное развитие агропромышленного сектора любого государства определяет продовольственную независимость и безопасность страны на международной арене. Для России особенно актуально данный вопрос стал звучать после введения экономических санкций со стороны ряда стран Запада и принятия Россией ответных мер в 2014 г. и обострился в феврале 2022 г. В этот период российское правительство определило дальнейший курс развития аграрной политики на импортозамещение посредством стимулирования и активизации внутреннего производства основных видов сельхозпродукции. Однако крайне затруднительно достижение установленных государством целей в условиях технико-технологической отсталости российского АПК от мировых аграрных лидеров, значительной недостаточности и высокой степени износа парка сельскохозяйственной техники. И это определяет еще одну задачу, стоящую перед российским правительством. Системное решение выше обозначен-

ной проблемы невозможно без анализа и оценки современной ситуации с технико-технологической составляющей сельского хозяйства и внедрения отраслевых инноваций.

В условиях введения жестких торгово-экономических санкций, ограничивающих в том числе поставку импортной техники, технологий, комплектующих, остро стал вопрос импортозамещения сельскохозяйственной техники и оборудования. Высокая зависимость от импортных запасных частей, комплектующих, техузлов, механизмов и пр., а также от сельскохозяйственной техники и технологий ставит под угрозу реализацию стратегии модернизации в отечественном агросекторе, основанной на повсеместном переходе на ресурсосберегающие, интенсивные, высокопроизводительные технологии. Обозначилась проблема возможности отечественного сельхозмашиностроения в полной мере заместить отсутствующий импорт без потери качественных характеристик.

В этой связи весьма актуален вопрос расширения направлений государственной поддержки и ее оптимизации, ориентированной, с одной стороны, на отрасль сельхозмашиностроения для наращивания производственных мощностей, строительства новых линий и расширения модельных линеек техники и оборудования, с другой – на аграриев в целях сохранения и активизации спроса на сельхозтехнику и спецоборудование отечественного производства. Однако для совершенствования направлений и инструментов госрегулирования, в том числе и финансовой поддержки модернизации отрасли, требуется всесторонний анализ текущей ситуации в сельхозмашиностроении, а также необходима комплексная оценка технико-технологического состояния агросектора [1–3], обоснованию которых посвящено данное исследование.

Достижению цели научного изыскания способствовало решение ряда задач: анализ инновационной активности аграриев, выделение основных причин существующего уровня инновационно-

сти в сельскохозяйственном производстве; оценка сильных и слабых сторон отечественного сельхозмашиностроения с определением потенциальных точек роста отрасли; обоснование необходимости проведения оценки технико-технологической составляющей агросектора как основы для совершенствования аграрной политики; выделение уровней ее проведения.

Методология и методы исследования (Methods)

Теоретико-методологической базой исследования выступили труды отечественных и зарубежных ученых в области изучения проблем технико-технологического состояния отечественного сельского хозяйства, совершенствования аграрной политики модернизации аграрного сектора экономики [4–10]; нормативно-правовые акты и стратегические программы развития отрасли. Методами исследования выступили монографический, институциональный и абстрактно-логический с использованием приемов анализа и синтеза, обобщения данных.

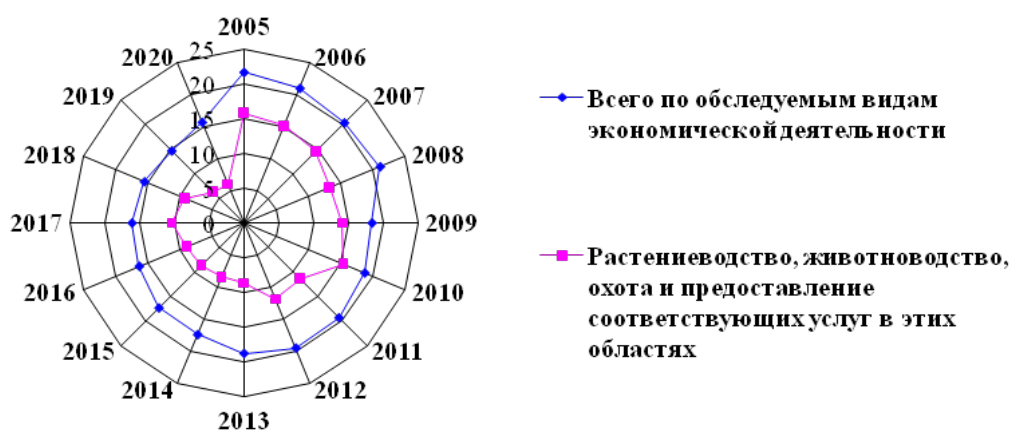


Рис. 1. Доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию, в общем объеме инвестиций в основной капитал в России, %
Источник: составлено по [12]

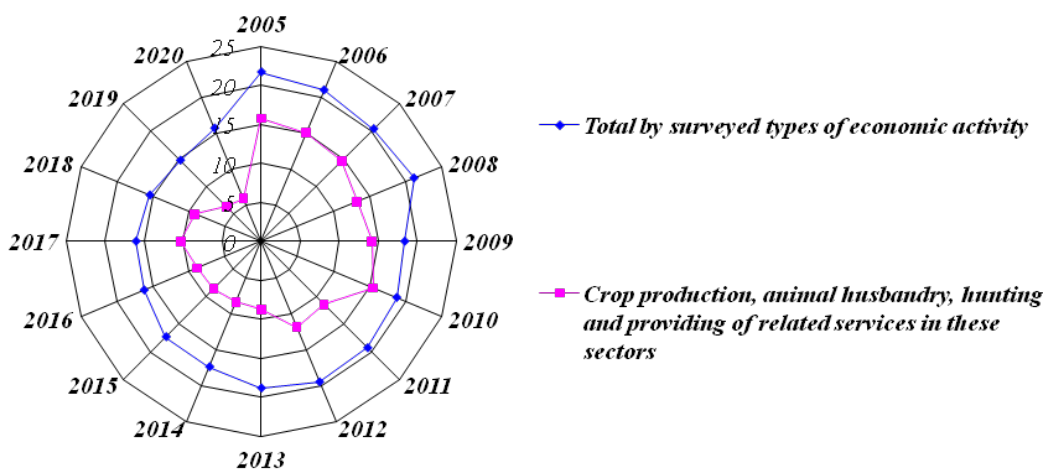


Fig. 1. The share of investments aimed at reconstruction and modernization in the total volume of investments in fixed assets in Russia, %
Source: compiled by [12]

Результаты (Results)

Ключевой целью развития агропромышленного комплекса является обеспечение в полном объеме внутренних потребностей страны в качественном продовольствии и сельхозсырье. Достижение поставленной цели во многом определяется инновационным и технологическим уровнем развития отрасли. Слабая заинтересованность аграриев в перевооружении производства из-за отсутствия финансовой возможности, нестабильности цен на сельхозпродукцию и сырье и других проблем не позволяет обеспечить переход отрасли на качественно новый инновационно-технологический путь ведения деятельности. В данной ситуации значительна роль государства: необходима национальная программа комплексной модернизации сельского хозяйства, разработка которой основывается на анализе и оценке текущей технико-технологической оснащенности.

Для нашей страны характерен поэтапный переход к новой инновационно-ориентированной фазе развития. В отличие от ведущих стран мира, в которых уже начали формироваться контуры нового прогрессивного технологического уклада, основой которого являются nano-, био- и новые цифровые технологии, в отечественном АПК присутствуют как прогрессивные, так и патриархальные элементы укладов, сочетаются передовые и устаревшие технологии [4; 11]. В результате сформировавшейся технологической многоукладности сельского хозяйства в совокупности с присущими отрасли производственными особенностями внедрение инноваций происходит с некоторым временным лагом по сравнению с другими отраслями экономики. Одной из причин является низкий уровень инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию основных производственных фондов аграриев, который ежегодно имеет тенденцию к сокращению (рис. 1).

Таблица 1
Основные показатели инновационной деятельности российской экономики в 2016–2021 гг.

Отрасль экономики	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Изменение 2021 г. к 2016 г., %
Уровень инновационной активности российских организаций по видам деятельности, %							
В целом по экономике	8,4	14,6	12,8	9,1	10,8	11,9	+ 41,7
Промышленное производство	10,5	17,8	15,6	15,1	16,2	17,4	+ 65,7
Сельское хозяйство	4,0	4,6	4,2	4,2	6,6	8,1	+ 102,5
Сфера телекоммуникаций	9,3	12,4	9,5	9,8	12,2	12,2	+ 31,2
Строительство	1,5	9,6	7,6	3,7	3,9	4,5	+ 200,0
Затраты на инновационную деятельность, млрд руб. (в действующих ценах)							
В целом по экономике	1298,4	1416,9	1484,9	1954,1	2134,0	2379,7	+ 83,3
Промышленное производство	787,2	856,8	893,9	984,3	1168,5	1307,3	+ 66,1
Сельское хозяйство	15,1	15,9	22,0	49,4	39,7	33,4	+ 121,2
Сфера телекоммуникаций	54,7	55,6	61,7	100,9	104,0	147,3	+ 169,3
Строительство	0,01	0,2	0,05	10,9	13,5	16,9	+ 168 900*

* Отклонения от расчетных значений за счет округления данных 2016–2021 гг.

Источник: составлено по [13].

Table 1
Main indicators of innovation activity of the Russian economy in 2016–2021

Economic sector	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Change 2021 to 2016, %
Level of innovation activity of Russian organizations by type of activity, %							
Economy as a whole	8.4	14.6	12.8	9.1	10.8	11.9	+ 41.7
Industrial production	10.5	17.8	15.6	15.1	16.2	17.4	+ 65.7
Agriculture	4.0	4.6	4.2	4.2	6.6	8.1	+ 102.5
Telecommunications sector	9.3	12.4	9.5	9.8	12.2	12.2	+ 31.2
Building	1.5	9.6	7.6	3.7	3.9	4.5	+ 200.0
The costs of innovation, billion rubles (in current prices)							
Economy as a whole	1298.4	1416.9	1484.9	1954.1	2134.0	2379.7	+ 83.3
Industrial production	787.2	856.8	893.9	984.3	1168.5	1307.3	+ 66.1
Agriculture	15.1	15.9	22.0	49.4	39.7	33.4	+ 121.2
Telecommunications sector	54.7	55.6	61.7	100.9	104.0	147.3	+ 169.3
Building	0.01	0.2	0.05	10.9	13.5	16.9	+ 168 900*

* Deviations from estimated values due to rounding of 2016–2021 data.

Source: developed by [13].

По данным исследований Высшей школы экономики, в 2021 г. доля инновационно-активных организаций в целом по экономике России составила 11,9 % (+41,7 % к 2016 г.). В сельском хозяйстве уровень инновационной активности организаций колеблется от 4,0 % до 8,1 %. Наиболее активны организации в таких видах экономической деятельности, как промышленное производство, сфера коммуникаций (таблица 1). Вместе с тем намечена положительная тенденция увеличения затрат на инновационную деятельность, в сельскохозяйственной отрасли рост составил 2,2 раза. Несмотря на увеличение расходов на инновационную деятельность в агросекторе, доля отрасли в общих затратах в 2021 г. составила всего 1,4 % (2016 г. – 1,2 %), тогда как на промышленное производство приходится больше половины всех затрат – 54,9 % (2016 г. – 60,6 %).

О слабом внедрении инновационных разработок в сельскохозяйственное производство говорят следующие данные: технологии точного земледелия в нашей стране применяют около 5–10 % сельхозпроизводителей, в США данный показатель составляет 60 %, в странах Европейского союза – порядка 80 %. Технологии интернета вещей (IoT) в России используют около 0,05 % сельхозорганизаций [14].

Объективными причинами, сдерживающими обновление парка техники и технологий, а также внедрения агроинноваций, являются следующие [15; 16]:

- существующий диспаритет цен на продукцию отраслей промышленности (в том числе, сельхозмашиностроения) и сельского хозяйства, особенно усиливающийся в 2020–2022 гг., обеспечивающий высокую стоимость технических средств;

- высокая закредитованность отечественных аграриев;

- финансово-экономическое положение субъектов агробизнеса, в особенности представителей малого предпринимательства (крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей), которые ограничены в возможностях технологической и инновационной модернизации хозяйства;

- малый размер обрабатываемых сельхозземель (характерно для малых сельхозорганизаций и сегмента фермерства) – согласно расчетам ученых ГНУ ВНИПТИМЭСХ (Зерноград), площадь пашни, обеспечивающая экономическую целесообразность формирования собственного МТП (машинно-тракторного парка), должна составлять не менее 260 га, для отдельной части фермеров приобретение технических средств невыгодно и неэффективно (средняя площадь земель крестьянского (фермерского) хозяйства по России – 226,5 га, по Ростовской области – 314,1 га).

Достижение высокого уровня технико-технологической составляющей отечественного сельского

хозяйства напрямую зависит от состояния и потенциальных возможностей сельхозмашиностроения. На современном этапе отечественное сельхозмашиностроение испытывает ряд трудностей. Для наглядного представления о существующих проблемах и возможностях развития отрасли с использованием одного из методов стратегического планирования составлен SWOT-анализ, отражающий сильные и слабые стороны, возможности и угрозы (рис. 2).

В последние годы отрасль сельхозмашиностроения показывает положительную динамику развития, выпуск сельхозтехники и оборудования увеличивается. По данным Российской ассоциации производителей специализированной техники «Росспецмаш», по итогам 2021 г. выпуск сельскохозяйственной техники по сравнению с предыдущим годом увеличился на 46 %, составив в стоимостном выражении 217,7 млрд руб., в том числе был отмечен рост производства зерноуборочных комбайнов (+26 %), тракторов (+28 %) и других видов сельскохозяйственной техники [17]. Но уже с начала 2022 г. ситуация стала меняться. В первом полугодии 2022 г. по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года отмечено сокращение производства зерноуборочных комбайнов на 37,0 %, зерноочистительных машин – на 2,8 %, борон – на 0,9 %. Вместе с тем была сохранена динамика роста производства сеялок, тракторов, плугов и опрыскивателей. Если в физическом выражении наблюдается сокращение выпуска отдельных видов сельхозтехники и оборудования, то в денежном выражении производство отечественной сельхозтехники по итогам первого полугодия 2022 г. увеличилось до 117,6 млрд руб., что объясняется значительным ростом цен.

Несмотря на увеличение выпуска сельхозтехники отечественного производства, на внутреннем рынке России значительна доля использования импортной техники в сельскохозяйственной деятельности. Порядка 40 % используемой техники – импортная (рис. 3). Если рассматривать технику в разрезе характеристик (мощности, специализации использования и пр.), то по отдельным ее видам отмечается почти полная зависимость от зарубежной техники: техника для заготовки кормов – 65 %, машины для химической защиты растений – более 70 %, тракторы – до 50 л. с. и от 150 л. с. до 300 л. с. – 90 %, техника для полива и тракторы от 50 л. с. до 150 л. с. – почти 100 % [19].

Высокая зависимость отечественного агросектора от импортной сельхозтехники и оборудования требует особого внимания со стороны государства. Новая геополитическая реальность внесла значительные коррективы в развитие отечественного рынка сельхозмашиностроения и повысила актуальность проблемы импортозамещения, важным условием которого, по нашему мнению, является

увеличение объемов инвестиций в НИОКР, необходимые для разработки высокоэффективных аналогов зарубежной сельскохозяйственной техники и комплектующих. Однако зачастую даже после успешного завершения НИОКР предприятия

сельхозмашиностроения не в состоянии наладить серийное производство без соответствующей поддержки (как финансово-экономической, так и нормативно-правовой) со стороны государства.

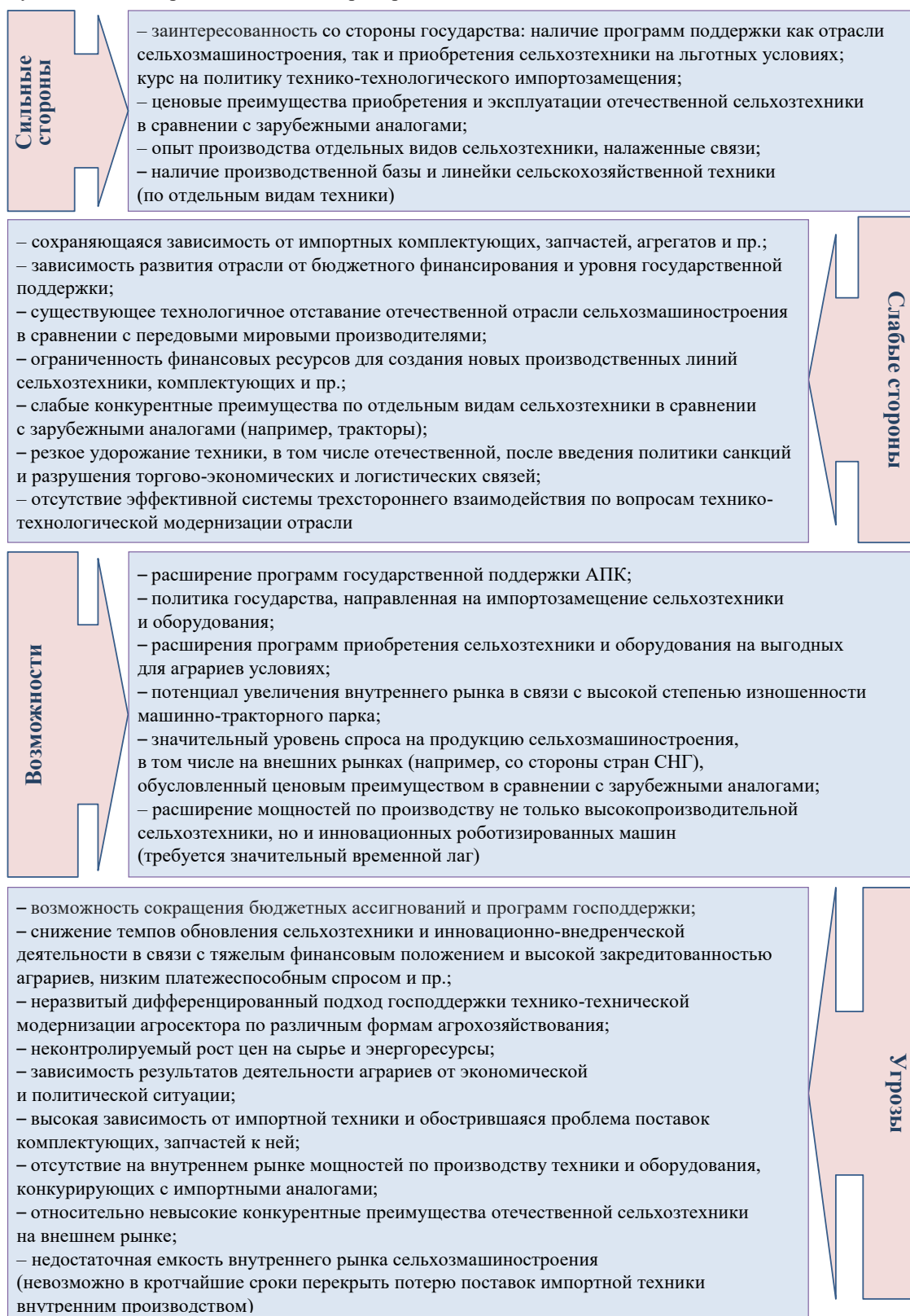


Рис. 2. SWOT-анализ российской отрасли сельскохозяйственного машиностроения
Источник: составлено по материалам исследования

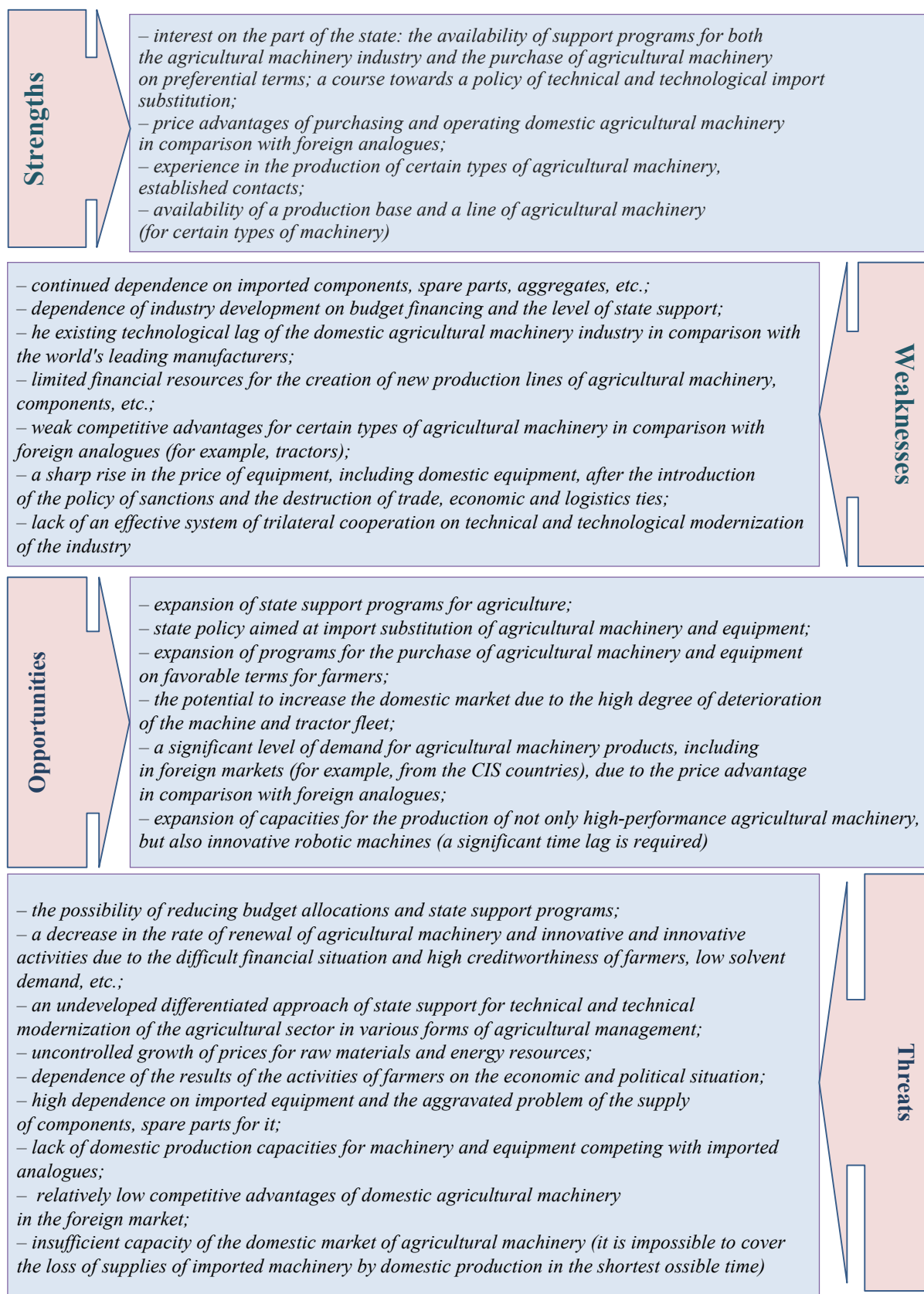


Fig. 2. SWOT analysis of the Russian agricultural machinery industry
Source: based on research materials

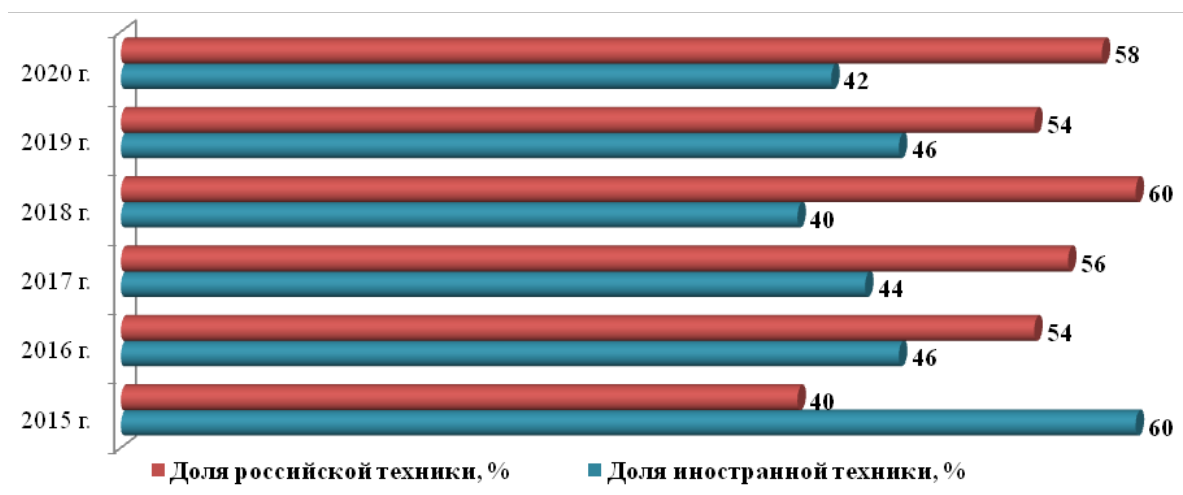


Рис. 3. Структура рынка сельскохозяйственной техники в России в 2015–2020 гг., %
Источник: составлено по [17; 18]

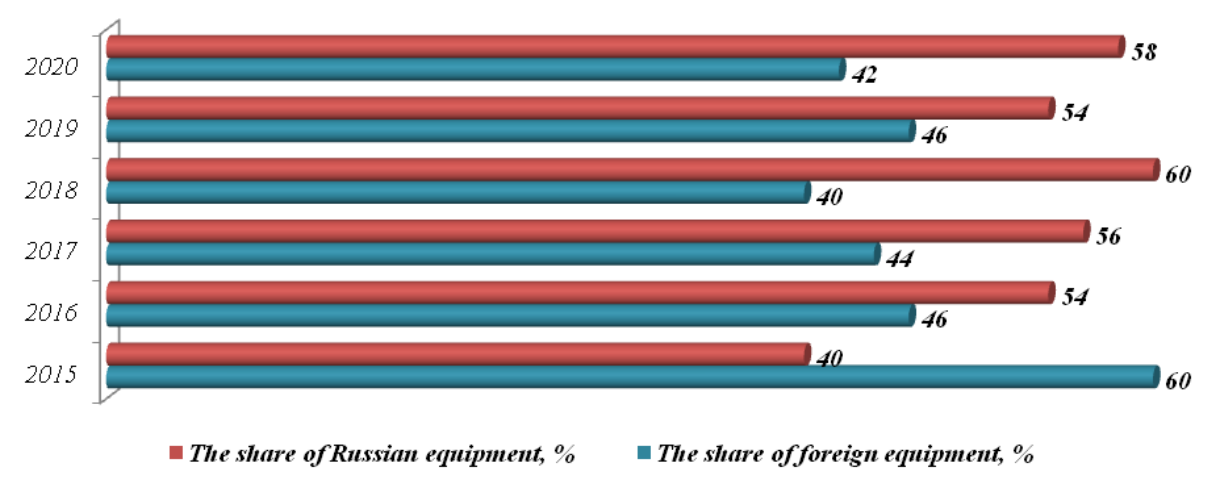


Fig. 3. Structure of the agricultural machinery market in Russia in 2015–2020, %
Source: compiled by [17; 18]

В настоящее время государство заинтересовано в технико-технологической модернизации отрасли сельского хозяйства в первую очередь за счет наращивания внутреннего производства сельхозмашин и оборудования, в связи с чем на государственном уровне учитываются интересы сельхозмашиностроения, прорабатываются и реализуются программы, стимулирующие (обеспечивающие) спрос аграриев на отечественную технику и оборудование. При этом следует отметить, что отрасль сельхозмашиностроения слабо реагирует на потребности различных форм агрохозяйствования в специфических комплектациях (моделях) сельхозтехники, выпуская технику и оборудование массового спроса на отлаженных годами производственных линиях. Однако в отдельных регионах в первую очередь для малых форм агрохозяйствования существует потребность в маломощной/малогабаритной технике, выполняющей при этом все основные агротехнические работы, что связано с мелкоконтурностью земельных наделов, наличием склонов, естественных препятствий и пр. В этой связи востребован-

ным направлением, способным дать «технологический толчок» аграрному сектору, является активное взаимодействие представителей агробизнеса с отраслью сельхозмашиностроения по вопросам разработки (создания) новых видов техники и оборудования, соответствующих запросам и потребностям конечных пользователей – аграриев.

Государство в этом случае должно осуществить корректировку нормативно-законодательной базы и выступить финансовым гарантом посредством предоставления бюджетных ассигнований на строительство новых линий и производств, а также предоставления субсидий и грантов на поддержание спроса на новую технику и оборудование, расширение программ льготного кредитования и агролизинга и др.

При разработке/корректировке/совершенствовании тех или иных направлений и механизмов государственного регулирования технико-технологической составляющей агросектора необходима оценка его уровня, которая, помимо степени технологичности сельского хозяйства, должна включать потен-

циальные возможности и конкурентоспособность отечественной отрасли сельхозмашиностроения [20–22]. На наш взгляд, такая оценка должна включать три уровня: федеральный (государственный), региональный и уровень хозяйствующего субъекта, каждый из которых имеет свои отличительные характеристики и зависит от поставленных целей и наличия достоверной информации.

Федеральный уровень предусматривает не только оценку технологичности агросектора по общепринятым показателям (наличие техники, обеспеченность, выбытие, нагрузка на единицу техники и пр.), но и современное состояние, потенциал и конкурентоспособность отрасли сельхозмашиностроения, а также стратегические направления по его усилению. Оценка технико-технологической составляющей сельскохозяйственной отрасли на региональном уровне дает возможность сравнить субъекты по производственно-техническим характеристикам; определить регионы с недостаточной технической оснащенностью; выделить слабые места технико-технологической составляющей агросектора в разрезе регионов и возможные направления стимулирования модернизационных процессов в производстве. Уровень хозяйствующего субъекта предусматривает оценку потенциального эффекта от использования того или иного вида новой техники/технологии в сравнении с затратами на ее приобретение. На рис. 4 отражены обобщенные методологические подходы оценки технико-технологического уровня развития сельского хозяйства.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Во всех экономически развитых странах инновационная деятельность рассматривается как одно из главных условий модернизации экономики и относится к показателям, отражающим конкурентоспособность страны. Аграрный сектор экономики является одним из базовых и стратегически важных для обеспечения как продовольственной, так и национальной безопасности, в связи с чем приоритетом экономической государственной политики должна быть активизация инновационной деятельности и технико-технологического обновления в аграрном секторе. Для проработки и реализации действенных инструментов и механизмов поддержки и стимулирования технической, технологической и инновационной модернизации нужны всесторонний анализ и качественная оценка уровня технологичности и инновационности как отрасли сельхозпроизводства, так и сельскохозяйственного машиностроения. Краткий анализ данных вопросов, отраженный в данной статье, свидетельствует о следующем:

– несмотря на некоторые положительные сдвиги, заинтересованность аграриев в инновационной

деятельности крайне низка и значительно отстает от передовых отраслей (промышленное производство, коммуникации);

– доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию основных производственных фондов в сельскохозяйственной отрасли, значительно отстает от показателей в целом по экономике и имеет тенденцию ежегодного сокращения;

– отрасль российского сельскохозяйственного машиностроения, несмотря на отдельные сильные стороны, имеет ряд системных проблем, связанных с достаточно высокой зависимостью от импортных поставок комплектующих и расходных материалов, что в последние годы определило резкое удорожание отечественной техники и оборудования; с технологической отсталостью отдельных производственных линий в сравнении с мировыми производителями сельхозтехники; высокой зависимостью от бюджетного финансирования и пр.;

– у хозяйств, которые используют импортную технику (около 40 % машинно-тракторного парка агросектора – импортного производства), могут возникать проблемы с ее ремонтом (в первую очередь – увеличение сроков), что связано с нарушением логистических цепочек поставки запасных частей и комплектующих.

Даже в существующих технико-технологических условиях работы агросектора в целом отрасль показывает рост производства. Однако для перехода на качественно новый производственный уровень, обеспечивающий конкурентное преимущество на мировых агропродовольственных рынках, требуется перевооружение сельского хозяйства, переход на инновационную составляющую, что во многом может быть реализовано с помощью государства (посредством мер поддержки аграриев, в том числе финансовой).

Следует отметить, что оперативная и достоверная оценка уровня технико-технологического состояния аграрной отрасли может служить отправной точкой для разработки и утверждения программ и проектов модернизации отечественного АПК, выбора тех или иных механизмов, инструментов, мер и направлений государственной поддержки технико-технологической модернизации многоукладного сельского хозяйства. При этом все принимаемые и реализуемые меры госрегулирования и поддержки целесообразно дифференцировать по регионам или группам регионов, обладающими схожими свойствами аграрной структуры и обеспеченности техникой и технологиями. Предложенные методологические подходы оценки технико-технологической составляющей сельского хозяйства могут стать основой для проведения такой оценки.

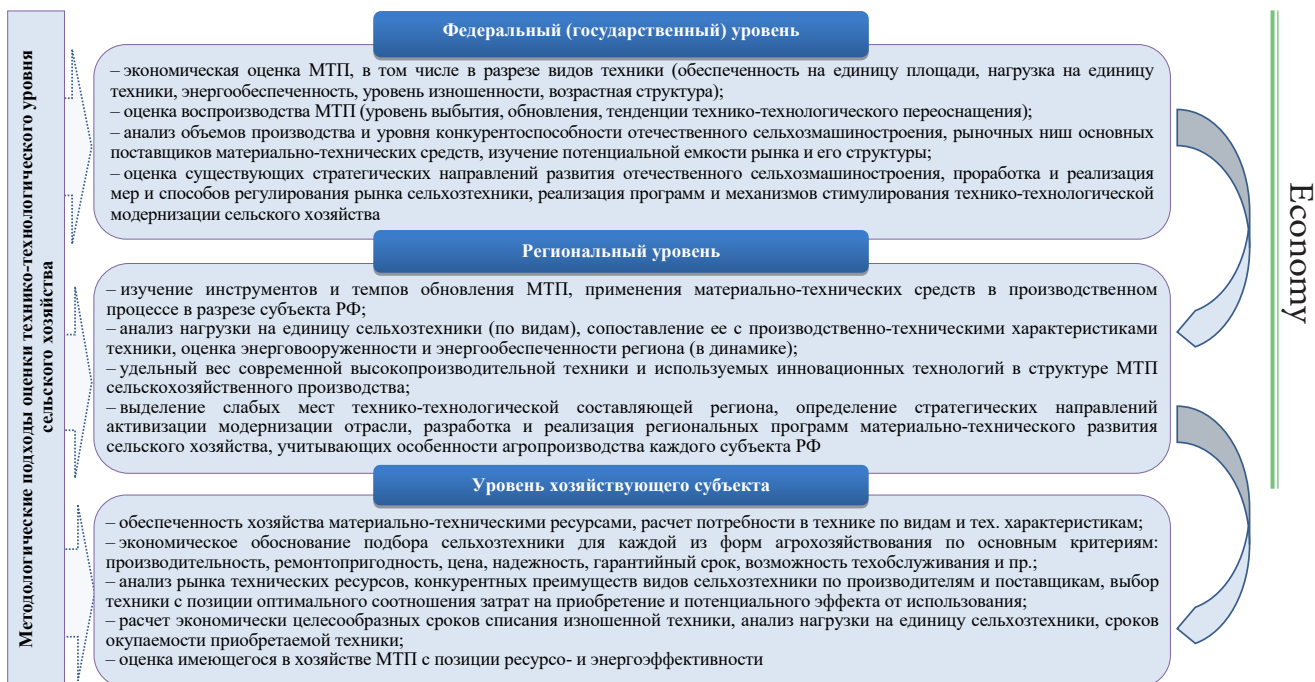


Рис. 4. Методологические подходы оценки технико-технологического уровня развития сельского хозяйства
Источник: разработано по материалам исследования

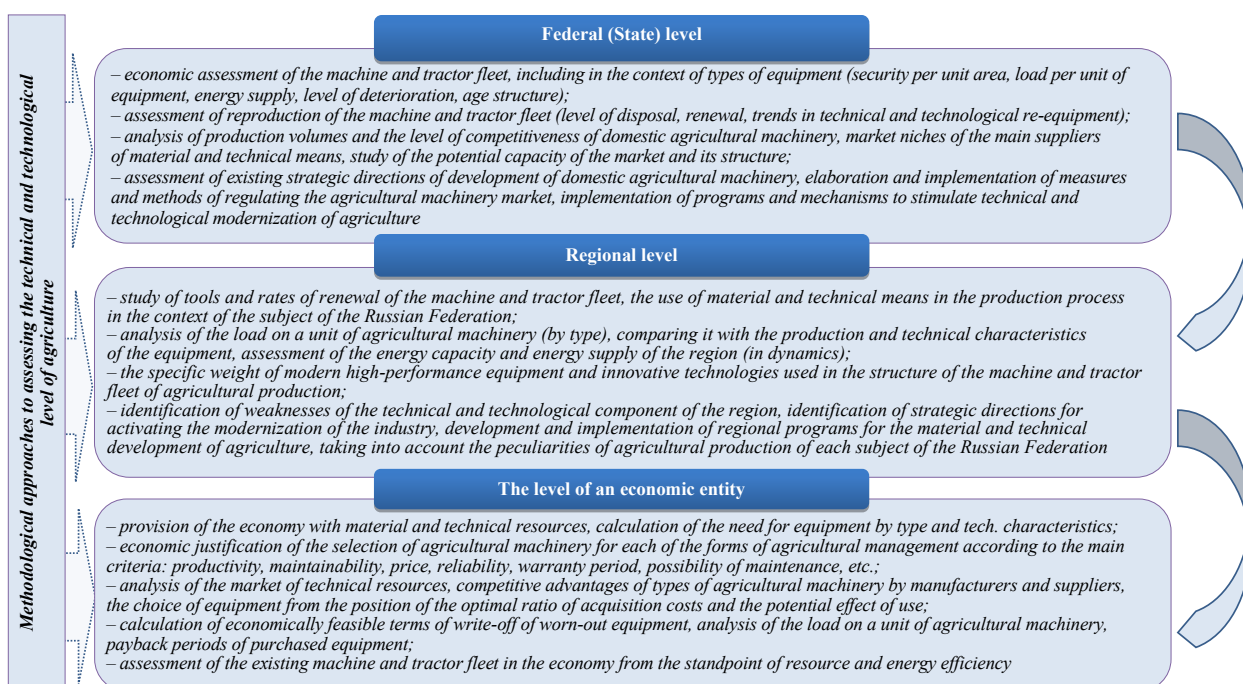


Fig. 4. Methodological approaches for assessing the technical and technological level of agricultural development
Source: developed based on research material

Библиографический список

1. Прогноз научно-технологического развития отрасли растениеводства, включая семеноводство и органическое земледелие России, в период до 2030 года: монография / А. Г. Папцов, А. И. Алтухов, Н. И. Кашеваров [и др.]. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2019. 100 с.
2. Петриков А. В. Новые тенденции в развитии сельского хозяйства и приоритеты аграрной политики в России // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 230. № 4. С. 275–284. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-275-284.

3. Исаева О. В. Концепция адаптации субъектов агробизнеса к новым условиям технологического и мирохозяйственного укладов: методологические подходы разработки // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 1. С. 245–263. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-12-1-245-263.

4. Алтухов А. И. Техничко-технологический потенциал сельского хозяйства и необходимость его модернизации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2 (38). С. 28–37. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-28-37.

5. Isaeva O., Krinichnaya E. State Support for the Technical Modernization of Multi-layered Agriculture in Russia: Current Status and Directions of Improvement // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 575. Pp. 819–827. DOI: 10.1007/978-3-031-21219-2_92.

6. Kholodova M. A., Kholodov O. A., Slozhenkina M. I., Mosolova D. A., Vasilieva M. O., Shakhbazova O. P. Opportunities for the development of domestic agricultural production in the context of global challenges and threats // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “AgroINNOVATION: Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex. AgroINNOVATION 2021”. 2022. Article number 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/965/1/012037.

7. Larina L., Ruslyakov D., Tikhonova O. Acceleration of the Transition to a New Technological Structure Based on the Technical Re-equipment of Agricultural Production // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 575. Pp. 845–853. DOI: 10.1007/978-3-031-21219-2_95.

8. Исаева О. В. Состояние технико-технологической составляющей АПК России: проблемы и возможности развития в условиях формирования нового мирохозяйственного уклада // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 4. С. 207–225. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-207-225.

9. Lukhanyan A., Panfilova O. Modelling the process of technical re-equipment of the MTF with the simultaneous selection of the optimal plan for its operation on the farm // XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”. 2020. Vol. 175. Article number 13007. DOI: 10.1051/e3sconf/202017513007.

10. Инновационно-технологическое развитие растениеводства: теория и методология: монография / В. В. Кузнецов, А. Н. Тарасов, Н. Ф. Гайворонская [и др.]. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «АзовПринт», 2018. 236 с.

11. Криничная Е. П. Трансформация технологических укладов в аграрном секторе России: современные реалии и потенциал развития // Стратегическое планирование и прогнозирование в АПК как инструмент достижения целей национального развития России: материалы Международного Круглого стола. Ростов на-Дону, 2021. С. 98–102. DOI: 10.34924/FRARC.2021.19.55.001.

12. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 20.06.2023).

13. Индикаторы инновационной деятельности: 2023: статистический сборник / В. В. Власова, Л. М. Гохберг, Г. А. Грачева [и др.]. Москва: НИУ ВШЭ. 2023. 292 с. DOI: 10.17323/978-5-7598-2749-8.

14. Uzun V., Shagaida N., Lerman Z. Russian agriculture: Growth and institutional challenges // Land Use Policy. 2019. Vol. 83. Pp. 475–487. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.02.018.

15. Павлушкина О. И., Черная А. Е., Кирсанова О. В. Государственная финансово-кредитная поддержка сельхозтоваропроизводителей в условиях современных рисков // Проблемы анализа риска. 2015. Т. 12. № 6. С. 16–21.

16. Чутчева Ю. В., Коротких Ю. С., Пуляев Н. Н. К вопросу обновления парка тракторов в Российской Федерации // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 5. С. 19–24. DOI: 10.32651/205-19.

17. Официальный сайт Российской ассоциация производителей специализированной техники и оборудования (Ассоциация «Росспецмаш») [Электронный ресурс]. URL: <https://rosspetsmash.ru> (дата обращения: 19.02.2023).

18. Рынок сельскохозяйственных машин – 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2019/12/23/1525051005/Рынок%20сельскохозяйственных%20машин-2019.pdf> (дата обращения: 19.02.2023).

19. Tadviser. Государство. Бизнес. Технологии. Сельхозтехника в России [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%85%D0%BE%D0%B7%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8 (дата обращения: 14.03.2023).

20. Krygina I., Rybak S. Economic Policy and Trends in the Development of Legislation in the Agro-Industrial Sector of the Russian Economy // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 574. Pp. 335–342. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_34.

21. Полухин А. А. Оценка технологического развития сельского хозяйства: технический аспект // RJOAS. 2017. № 6 (66). С. 23–36. DOI: 10.18551/rjoas.2017-06.02.

22. Semkin A., Altukhov A., Silaeva L., Alpatov A., Zadvorneva E. Development of Strategic Directions for Optimization of Management Systems in Agriculture in Russia // XV International Scientific Conference “INTER-AGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 574. Pp. 402–413. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_41.

Об авторе:

Ольга Викторовна Исаева, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, Ростовская обл., п. Рассвет, Россия; ORCID 0000-0002-6022-9945, AuthorID 1056517. E-mail: olga.isaeva-84@yandex.ru

References

1. Paptsov A. G., Altukhov A.I., Kashevarov N. I. et al. Forecast of scientific and technological development of the crop industry, including seed production and organic farming in Russia, in the period up to 2030: monograph. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University. 2019. 100 p. (In Russ.)

2. Petrikov A. V. New trends in the development of agriculture and priorities of agricultural policy in Russia. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2021; 230 (4): 275–284. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-275-284. (In Russ.)

3. Isaeva O. V. The concept of adaptation of agribusiness entities to the new conditions of technological and national economic structures: methodological development approaches. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022; 12 (1): 245–263. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-12-1-245-263. (In Russ.)

4. Altukhov A. I. Technical and technological potential of agriculture and the need for its modernization. *Legumes and goat crops*. 2021; 2 (38): 28–37. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-28-37. (In Russ.)

5. Isaeva O., Krinichnaya E. State Support for the Technical Modernization of Multi-layered Agriculture in Russia: Current Status and Directions of Improvement. *XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 575. Pp. 819–827. DOI: 10.1007/978-3-031-21219-2_92.

6. Kholodova M. A., Kholodov O. A., Slozhenkina M. I., Mosolova D. A., Vasilieva M. O., Shakhbazova O. P. Opportunities for the development of domestic agricultural production in the context of global challenges and threats. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “AgroINNOVATION: Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex. AgroINNOVATION 2021”*. 2022: 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/965/1/012037.

7. Larina L., Ruslyakov D., Tikhonova O. Acceleration of the Transition to a New Technological Structure Based on the Technical Re-equipment of Agricultural Production. *XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023; 575: 845–853. DOI: 10.1007/978-3-031-21219-2_95.

8. Isaeva O. V. The state of technical and technological constituent of the agro-industrial complex of Russia: challenges and opportunities for development under a new world economic structure formation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021; 11 (4): 207–225. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-207-225. (In Russ.)

9. Lukhanyan A., Panfilova O. Modelling the process of technical re-equipment of the MTF with the simultaneous selection of the optimal plan for its operation on the farm. *XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”*. 2020; 175: 13007. DOI: 10.1051/e3sconf/202017513007.

10. Innovative and technological development of crop production: theory and methodology: monograph / V. V. Kuznetsov, A. N. Tarasov, N. F. Gayvoronskaya et al. Rostov-on-Don: Publishing house “AzovPrint” LLC, 2018. 236 p. (In Russ.)

11. Krinichnaya E. P. Transformation of technological modes in the agrarian sector of Russia: current realities and development potential. *Strategic planning and forecasting in the agro-industrial complex as a tool for achieving the goals of national development of Russia: materials of the International Round Table. Rostov-on-Don*, 2021. Pp. 98–102. DOI: 10/34924/FRARC.2021.19.55.001. (In Russ.)

12. Official website of the Federal State Statistics Service [Internet]. [cited 2023 Jun 29]. Available from: <https://rosstat.gov.ru>. (In Russ.)

13. Indicators of Innovation in the Russian Federation: 2023: Data book / V. V. Vlasova, L. M. Gokhberg, G. A. Gracheva et al. Moscow: HSE, 2023. 292 p. DOI: 10.17323/978-5-7598-2749-8. (In Russ.)

14. Uzun V., Shagaida N., Lerman Z. Russian agriculture: Growth and institutional challenges. *Land Use Policy*. 2019; 83: 475–487. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.02.018.

15. Pavlushkina O. I., Chernaya A. E., Kirsanova O. V. State financial and credit support for agricultural producers in the context of modern risks. *Issues of risk analysis*. 2015; 12 (6): 16–21. (In Russ.)
16. Chutcheva Yu. V., Korotkih Yu. S., Pulyaev N. N. To the issue of tractor's renewal in the Russian Federation. *Economics of Agriculture of Russia*. 2020; 5: 19–24. DOI: 10.32651/205-19. (In Russ.)
17. Official website of the Russian Association of Manufacturers of Specialized Machinery and Equipment (Rosspetsmash Association) [Internet]. [cited 2023 Feb 19]. Available from: <https://rosspetsmash.ru>. (In Russ.)
18. Agricultural machinery market – 2019 [Internet]. [cited 2023 Feb 19]. Available from: <https://dcenter.hse.ru/data/2019/12/23/1525051005/Рынок%20сельскохозяйственных%20машин-2019.pdf>. (In Russ.)
19. Tadviser: Government. Business. IT. Agricultural machinery in Russia [Internet]. [cited 2023 Mar 13]. Available from: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%85%D0%BE%D0%B7%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8. (In Russ.)
20. Krygina I., Rybak S. Economic Policy and Trends in the Development of Legislation in the Agro-Industrial Sector of the Russian Economy. *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023; 574: 335–342. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_34.
21. Polukhin A. A. Evaluation of the technological development of agriculture: the technical aspect. *RJOAS*. 2017; 6 (66): 23–36. DOI: 10.18551/rjoas.2017-06.02. (In Russ.)
22. Semkin A., Altukhov A., Silaeva L., Alpatov A., Zadvorneva E. Development of Strategic Directions for Optimization of Management Systems in Agriculture in Russia. *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023; 574: 402–413. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5_41.

Author's information:

Olga V. Isaeva, candidate of economic sciences, leading researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rostov region, settlement Rassvet, Russia; ORCID 0000-0002-6022-9945, AuthorID 1056517.
E-mail: olga.isaeva-84@yandex.ru

Перспективы производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан

Л. А. Калинина, И. А. Зеленская[✉], Н. В. Калинин

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, Иркутск, Россия

[✉]E-mail: klausinga@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам оценки перспектив развития садоводческих некоммерческих товариществ граждан, в том числе выявлению возможностей увеличения производства овощей у данной категории сельхозтоваропроизводителей для удовлетворения потребностей их семей и реализации имеющихся излишков отдельных видов этой продукции. **Целью исследования** является разработка методического подхода к оценке перспектив овощеводства в садово-огородных некоммерческих товариществах граждан и его апробация в условиях региона для выявления возможности его использования на других территориях. В процессе исследования были применены следующие **методы**: статистико-экономические, социологического исследования, сравнения, анализ и синтез. **Научная новизна** данного исследования заключается в разработке методического подхода к оценке перспектив производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан. В качестве инструмента проведения исследования нами была разработана анкета для опроса членов садоводческих некоммерческих товариществ. **Результатом** является апробирование разработанного методического подхода на материалах Иркутской области, что позволило выявить факторы, препятствующие росту производства овощей у исследуемой категории сельхозтоваропроизводителей: недостаточная поддержка садоводческих товариществ со стороны органов власти, низкое качество семенного материала, районированность к климатическим условиям региона, трудности реализации излишков продукции. Кроме того, по результатам апробации разработаны рекомендации, направленные на увеличение производства овощей в садоводческих товариществах. Исследование проводилось в рамках деятельности научной лаборатории «Экономические исследования» на базе кафедры экономики и бухгалтерского учета Иркутского государственного аграрного университета им. А. А. Ежевского. Методический подход может быть использован в других регионах. Статья может быть полезна органам власти всех уровней при разработке программ поддержки данной категории сельхозпроизводителей.

Ключевые слова: садоводческие некоммерческие товарищества граждан, овощеводство, нормы рационального потребления, методический подход

Для цитирования: Калинина Л. А., Зеленская И. А., Калинин Н. В. Перспективы производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 273–285. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-273-285>.

Благодарности. Авторы выражают благодарность всем садоводам, принявшим участие в опросе.

Дата поступления статьи: 30.08.2023, **дата рецензирования:** 29.09.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Prospects of vegetable production in horticultural non-profit partnerships of citizens

L. A. Kalinina, I. A. Zelenskaya✉, N. V. Kalinin

Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia

✉E-mail: klausinga@mail.ru

ЭКОНОМИКА

Abstract. The article is devoted to the issues of assessing the prospects for the development of horticultural non-profit partnerships of citizens. Including the identification of opportunities to increase the production of vegetables from this category of agricultural producers to meet the needs of their families and the sale of existing surpluses of certain types of these products. **The purpose** of the study is to develop a methodological approach to assessing the prospects of vegetable growing in horticultural non-profit partnerships of citizens and its testing in the conditions of the region to identify the possibility of its use in other territories. **Methods.** In the course of the study, methods of comparison, statistical and economic, sociological research, analysis and synthesis were applied. **The scientific novelty** of this study lies in the development of a methodological approach to assessing the prospects of vegetable production in horticultural non-profit partnerships of citizens. As a research tool, we have developed a questionnaire for interviewing members of horticultural non-profit partnerships. **The scientific result** is the testing of the developed methodological approach on the materials of the Irkutsk region, which made it possible to identify factors hindering the growth of vegetable production in the studied category of agricultural producers: insufficient support of horticultural associations from the authorities, poor quality of seed material, zoning to the climatic conditions of the region, difficulties in selling surplus products. In addition, based on the results of the approbation, recommendations have been developed aimed at increasing the production of vegetables in horticultural associations. The study was conducted within the framework of the scientific laboratory “Economic Research” on the basis of the Department of Economics and Accounting of the Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky. The methodological approach can be used in other regions. The article may be useful to authorities at all levels when developing programs to support this category of agricultural producers.

Keywords: horticultural non-profit partnerships of citizens, vegetable growing, rational consumption norms, methodical approach

For citation: Kalinina L. A., Zelenskaya I. A., Kalinin N. V. Prospects of vegetable production in horticultural non-profit partnerships of citizens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 273–285. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-273-285>. (In Russ.)

Acknowledgements. The authors would like to thank all gardeners who took part in the survey.

Date of paper submission: 30.08.2023, **date of review:** 29.09.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

На данный момент в Российской Федерации насчитывается около 60 млн членов садоводческих и огороднических некоммерческих товариществ, их деятельность осуществляется на более чем 25 млн дачных участков. Важно отметить, что дачники вносят большой вклад в производство овощей, производя более половины общего объема овощей в России.

Результаты исследований, посвященных потреблению пищевых продуктов в соответствии с рациональными нормами, включая потребление овощей, отражены в работах таких авторов, как Е. В. Берендеева, Т. А. Ратникова [4], Т. Н. Белова [3], Н. А. Карлова, Е. Н. Паюрова, Е. А. Галактионова [10], Т. Н. Сурихина, Р. А. Мещерякова, Г. А. Телегина [17], И. Г. Ушачев, В. В. Масло-

ва, А. В. Колесников [18], Д., Гупта Б. Дэвидсон, М. Хилл, А. Маккатчен, М. Сингх Пандхер, Д. Х. Макдональд, А. Дж. Гамильтон, Г. Д. Мекала [19], Д. Мейсон-Д’Кроз, Дж. Р. Богард, М. Эрре-ро, Т. Б. Сульсер, Н. Сенакки, С. Данстон, К. Вибе [20], Г. М. Монирул Алам, Нилуфа Хатун Мост [21], Т. Филипяк, Л. Вики [22], М. Умарходжаева [23].

Также следует отметить, что состояние овощеводства в России и ее регионах глубоко проанализировано в работах таких ученых, как А. В. Бекетов, В. А. Кувшинова, И. А. Минаков [2; 11], Я. М. Иванов, С. А. Петрова, М. Н. Полковская, Н. И. Федурин [8], С. А. Окладчик [13], С. М. Рыжкова [15], Г. М. Винокуров, С. И. Винокуров, М. В. Винокурова [6], Н. И. Большешапова, И. Н. Абрамова, Е. В. Бояркин, С. П. Бурлов [5], Ф. В. Николаева, Ф. А. Лукина [12].

Однако важно отметить, что вклад дачников в производство овощей в регионах России до сих пор остается малоизученным направлением исследований. Существующие работы в основном ограничиваются рассмотрением общих аспектов функционирования садовых некоммерческих товариществ граждан, исследованиями которых занимались В. Ф. Башмачникова, В. В. Дрокина, А. С. Журавлева [1], Л. А. Калинина, Н. В. Калинина, И. А. Зеленская, О. В. Власенко [9], Т. С. Серегина, А. А. Заречких [16].

В связи с этим возникает потребность в разработке методического подхода к более глубокому исследованию перспектив овощеводства в садоводческих некоммерческих товариществах граждан, что позволит более точно определить роль дачников в обеспечении населения овощами и разработать эффективные мероприятия по развитию садоводческих некоммерческих товариществ граждан.

Методология и методы исследования (Methods)

В этих условиях необходимо оценить перспективы развития садоводческих некоммерческих товариществ граждан, в том числе возможность увеличения производства овощей у данной категории сельхозтоваропроизводителей для удовлетворения потребностей их семей и организованной реализации имеющихся излишков отдельных видов этой продукции. Для этого необходимо разработать ме-

тодический подход к оценке перспектив производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан.

Результаты (Results)

Этап 1. Согласно разработанному методическому подходу к анализу перспектив производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан, первый этап этого исследования включает в себя детальный анализ ситуации в сфере производства овощей в Российской Федерации.

Изучение объема производства овощей в России за рассматриваемый период позволяет выявить определенные тенденции. В 1990 и 1991 гг. объем производства овощей составлял соответственно 11 444 тыс. т и 11 458 тыс. т. Однако в последующие годы наблюдался плавный спад: в 1992 г. объем снизился до 10 731 тыс. т (на 6,3 %), в 1993 г. – до 10 424 тыс. т (на 2,9 %), в 1994 году достиг 10 079 тыс. т (на 3,3 %).

Далее отмечается изменение в динамике производства овощей: начиная с 1995 г. производство начало постепенно увеличиваться, достигнув пика в 2011 г., когда объем составил 14 682,5 тыс. т (на 20 % больше, чем в 2010 г.). В 2012 г. наблюдалось небольшое снижение до 14 325,8 тыс. т (на 2,4 %). До 2019 г. отмечался практически ежегодный прирост значения данного показателя, объем производства овощей в 2019 г. составил 15 889,7 тыс. т.



Рис. 1. Алгоритм методического подхода к оценке перспектив производства овощей в садоводческих некоммерческих товариществах граждан

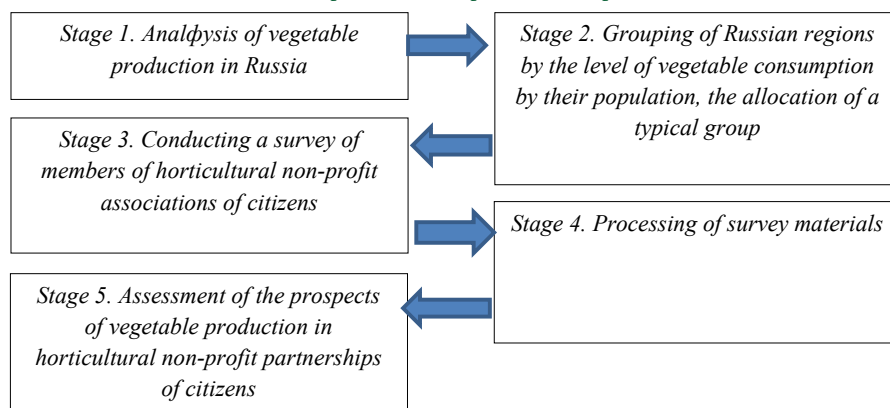


Fig. 1. The algorithm of the methodological approach to assessing the prospects of vegetable production in horticultural non-profit partnerships of citizens

Затем наблюдается новый период спада в производстве овощей и бахчевых: в 2020 г. объем достиг 15 448,1 тыс. т, в 2021 г. составил 15 375,1 тыс. т.

В итоге производство овощей и бахчевых в России в рассматриваемом периоде характеризовалось разнообразными тенденциями, но, несмотря на отдельные годы со снижением объема производства, в целом намечается тренд к увеличению объемов производства. Ежегодный прирост в среднем составляет 0,93 %. В 2021 г. в РФ было произведено на 34,4 % больше, чем в 1990 г. (рис. 2).

Анализируя рис. 3, на котором представлена структура производства овощей в России по категориям хозяйств в 2021 г. в процентном соотношении, можно отметить, что крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели занимают немалую долю в общем объеме производства овощей, а именно 20,3 %. Этот показатель подчеркивает вклад малых сельскохозяйственных предприятий и предпринимателей в производство

овощей. Такие хозяйства, как правило, имеют более гибкую структуру и способны быстро реагировать на изменения в спросе на рынке овощей, что делает их значимыми участниками национального сельского хозяйства.

Сельскохозяйственные организации, включая крупные сельхозпредприятия, занимают 28,4 % рынка производства овощей в России. Крупные хозяйства благодаря своим масштабам и ресурсам могут обеспечивать стабильное и массовое производство овощей.

51,3 % производства овощей в России приходится на хозяйства населения (граждан). Значит, большая часть овощей в России производится отдельными лицами или малыми семейными хозяйствами, что говорит о важной роли населения в обеспечении себя и других граждан свежими овощами.

В совокупности эти данные свидетельствуют о разнообразии и гибкости структуры производства овощей в России, что придает определенную устойчивость отрасли в целом.

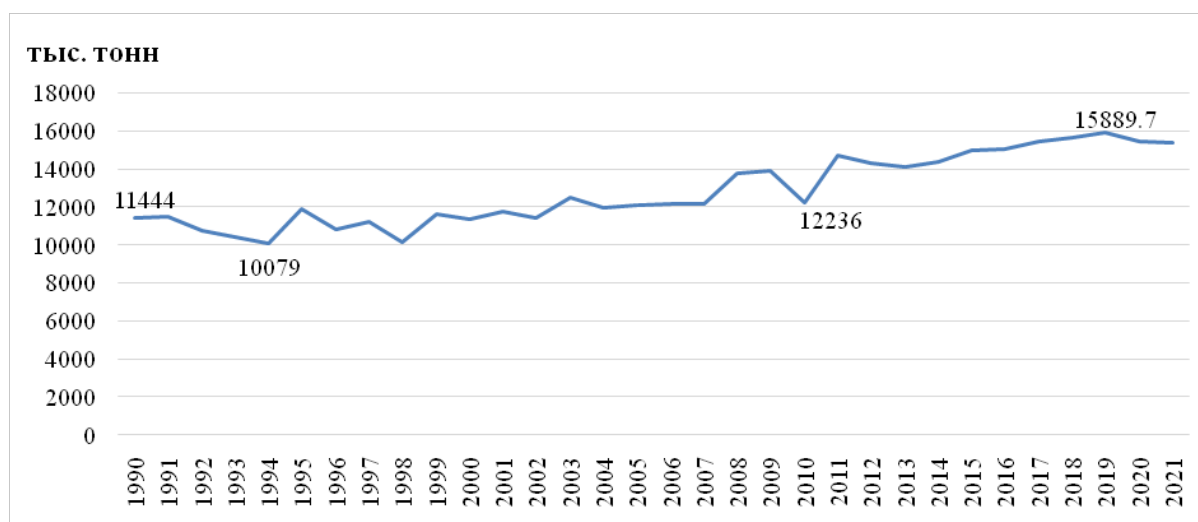


Рис. 2. Объем производства овощей в России за 1990–2021 гг, тыс. т

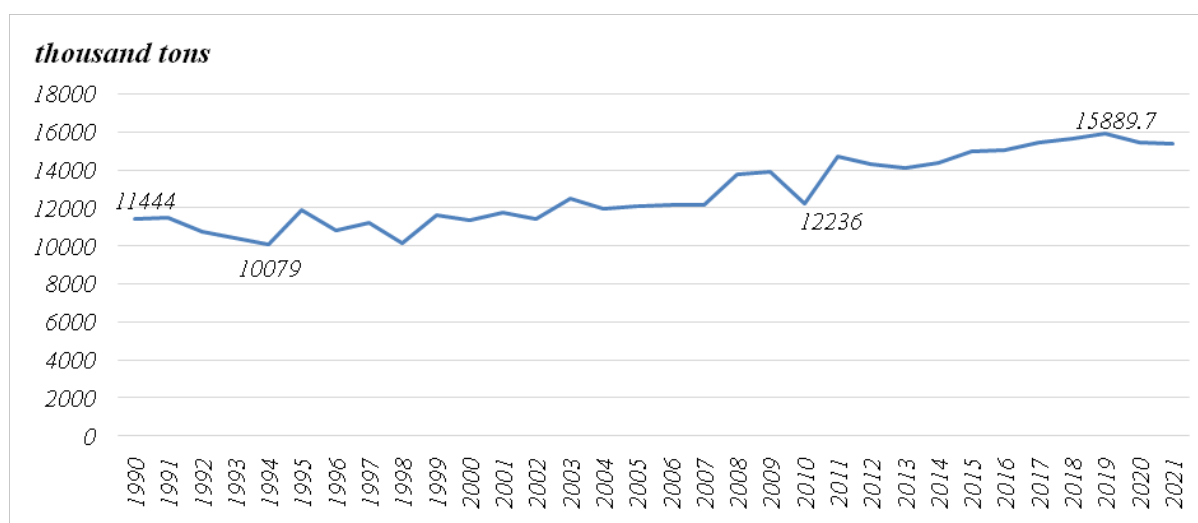


Fig. 2. The volume of vegetable production in Russia for 1990–2021, thousand tons

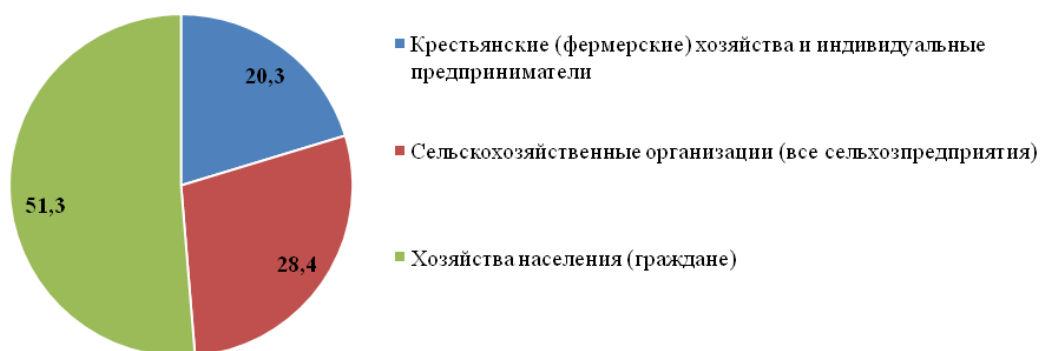


Рис. 3. Структура производства овощей в России по категориям хозяйств в 2021 г., %

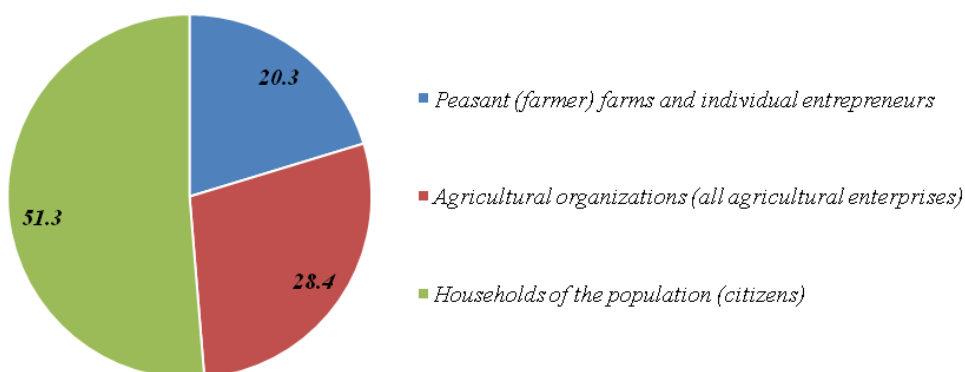


Fig. 3. Structure of vegetable production in Russia by category of farms in 2021, %

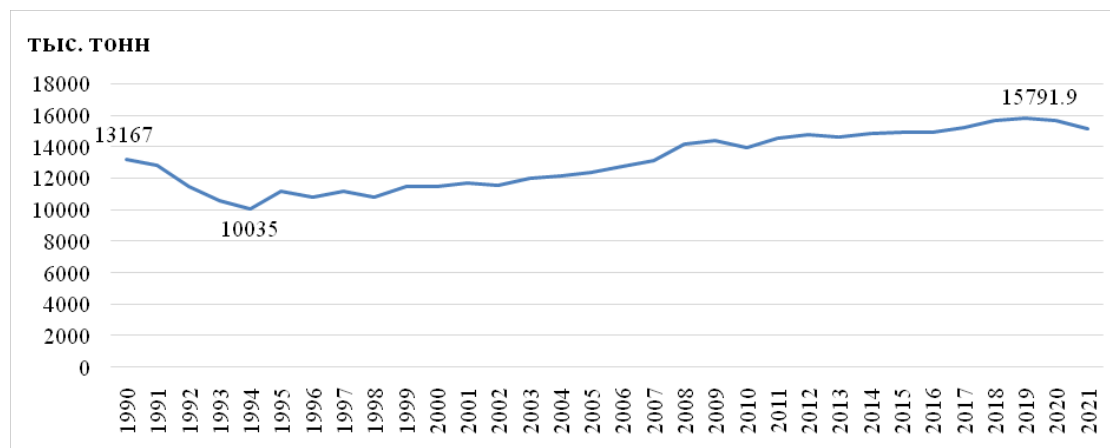


Рис. 4. Объем личного потребления овощей в России за 1990–2021 гг., тыс. т

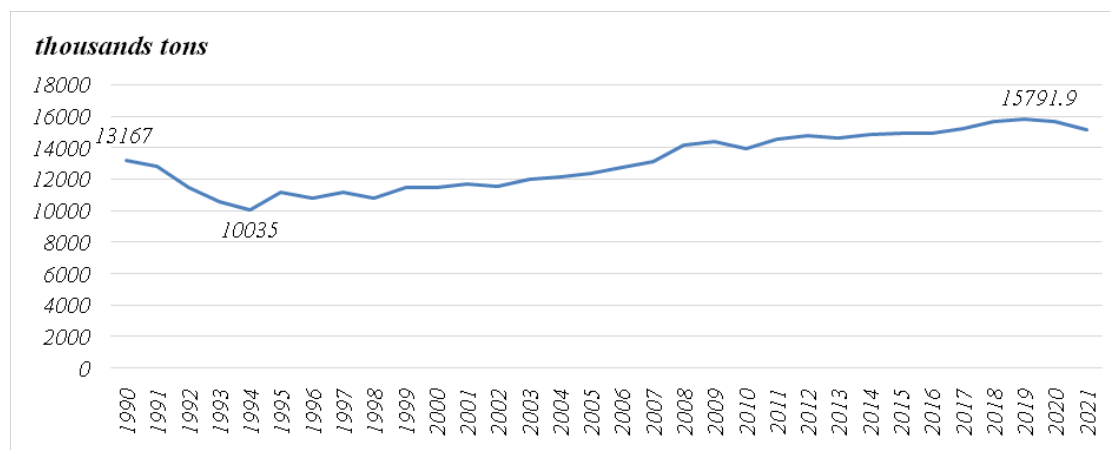


Fig. 4. The volume of personal consumption of vegetables in Russia for 1990–2021, thousand tons

Овощи используются на производственное и личное потребление. При этом на производственное потребление приходится около 7 %, на личное – около 63,5 %. В 2021 г. по сравнению с 1990 г. производственное потребление овощей увеличилось в 2,3 раза и составило 1709,3 тыс. т. В 2021 г. было использовано для личных нужд населения 15 178,7 тыс. т овощей, что на 15,3 % больше уровня 1990 г. (рис. 4).

Этап 2. На втором этапе исследования, согласно предложенной нами методике, необходимо провести группировку регионов России по уровню потребления овощей их населением и выделение типичной группы. В 2016 г. в России были утверждены новые нормы рационального потребления пищевых продуктов, включая овощи и бахчевые культуры. В соответствии с этими нормами на душу населения потребление овощей должно составлять 140 кг в год. Однако анализ данных за 2021 г. показал, что среднее потребление овощей на одного человека составило 104 кг, что на 25,7 % ниже установленной рациональной нормы. Это свидетельствует о том, что в стране существует недостаточный уровень потребления овощей, что может иметь негативные последствия для здоровья населения.

При этом население всего шести регионов потребило овощей и бахчевых выше установленных норм рационального потребления: Астраханская область – 174 кг, Волгоградская область – 178 кг,

Ростовская область – 140 кг, Республика Дагестан – 237 кг, Кабардино-Балкарская Республика – 174 кг, Чеченская Республика – 152 кг, Оренбургская область – 159 кг. В Ростовской области за 2021 г. было потреблено 140 кг овощей и бахчевых на душу населения, что соответствует рациональной норме потребления. Данные регионы будут исключены из выборки, так как для дальнейшего анализа потребления овощей необходимы регионы с потреблением овощей и бахчевых на душу населения ниже рациональной нормы потребления.

Выполнив группировку регионов по потреблению овощей и бахчевых культур на душу населения с равными интервалами, выделили три группы. В первую группу вошли регионы с уровнем потребления овощей от 103 до 136 кг. В этой группе выделяется Ставропольский край с самым высоким потреблением овощей и бахчевых культур на душу населения, достигающим 136 кг. Далее следуют Краснодарский край и город Севастополь, оба с потреблением на уровне 130 кг на душу населения, Республика Адыгея с 126 кг, Новосибирская область с 124 кг и Амурская область с 123 кг.

В Хабаровском крае и Воронежской области значение данного показателя составляло 122 и 120 кг соответственно. В Омской области отмечалось потребление овощей и бахчевых культур в объеме 117 кг на душу населения, в Республике Крым и Республике Марий Эл – 115 кг.

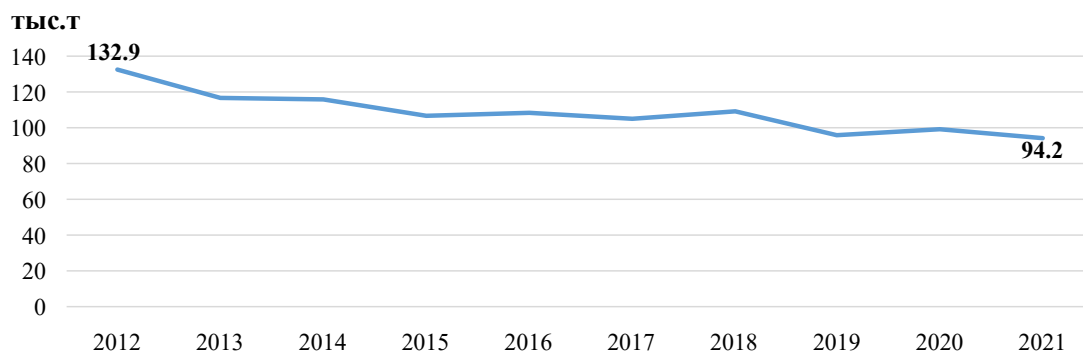


Рис. 5. Валовой сбор овощей в Иркутской области за 2012–2021 гг., тыс. тонн

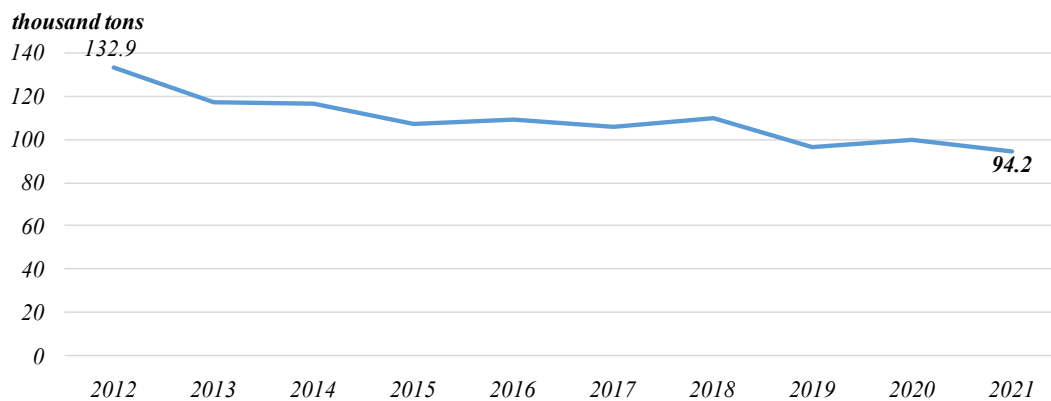


Fig. 5. Gross harvest of vegetables in the Irkutsk region for 2012–2021, thousand tons

В Липецкой области и Белгородской области отмечалось потребление в объеме 114 и 113 кг соответственно, в Самарской области – 112 кг, в Республике Ингушетия – 111 кг. Замыкают данную группу регионов Камчатский край и Московская область с показателями 111 и 110 кг на душу населения соответственно.

В третью группу вошли регионы с самым низким уровнем потребления овощей, такие как Чукотский автономный округ с показателем всего 34 кг на душу населения, а также республики Тыва и Бурятия с показателями 41 и 64 кг соответственно.

Наиболее многочисленной (то есть типичной) является вторая группа с потреблением овощей на душу населения от 68 до 102 кг в год, куда вошло 42 региона России. В среднем уровень потребления овощей (в том числе бахчевых) в данной группе составил 85,6 кг на одного человека, что на 54,4 кг (или 38,8 %) ниже рациональной нормы потребления. В данную (типичную) группу вошла и Иркутская область.

В 2021 г. объем потребления овощей населением Иркутской области составил 68 кг на одного человека в год, что на 51,4 % меньше рациональной нормы потребления. В Иркутской области в отличие от среднероссийской тенденции отмечается снижение объема производства овощей. Так, в 2021 г. было собрано 94,2 тыс. т овощей, что на 29 % ниже валового сбора 2012 г. (рис. 5).

Анализ баланса ресурсов и использования овощной и бахчевых культур в Иркутской области показал, что за период с 2006 по 2021 гг. общий объем ресурсов, включающий запасы на начало года, производство и ввоз овощей, изменился. Так, в 2006 г. этот объем составлял 248,4 тыс. т, а к 2021 г. снизился до 234,8 тыс. т. Наибольшую долю использования составляет личное потребление, которое изменяется в диапазоне от 160,9 тыс. т в 2021 г. до 188,3 тыс. т в 2012 г.

Процесс снижения валового сбора овощей в Иркутской области в основном обусловлен сокращением посадочных площадей. В 2021 г. по сравнению с 2012 г. посадочная площадь овощей уменьшилась на 37,5 % и составила 3,5 тыс. га (рис. 6). Необходимо отметить, что наибольшее снижение посадочных площадей овощей отмечается в сельскохозяйственных организациях: с 1,1 тыс. га в 2012 г. до 0,4 тыс. га в 2021 г. Сокращение составило 63,6 %. Тем не менее урожайность овощей в данной категории хозяйств увеличилась и достигла 375 ц/га.

Хозяйства населения также уменьшили свои посадочные площади овощей с 4 тыс. га в 2000 г. до 2,7 тыс. га в 2021 г. У крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей посадочная площадь за рассмотренный период не изменилась и составила 0,4 тыс. га в 2021 г.

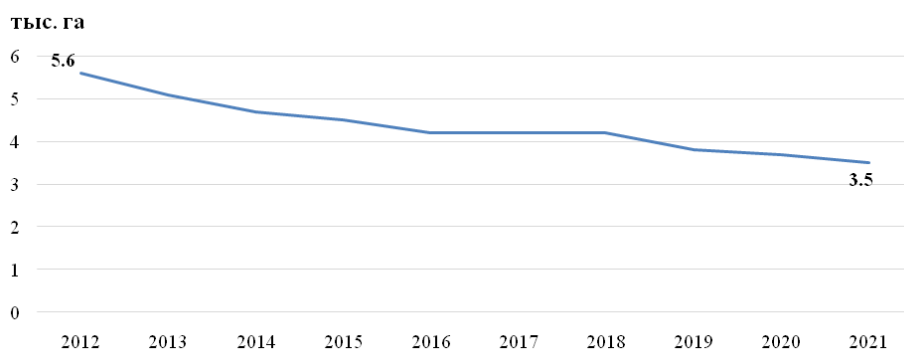


Рис. 6. Посадочная площадь овощей в Иркутской области за 2012–2021 гг., тыс. га

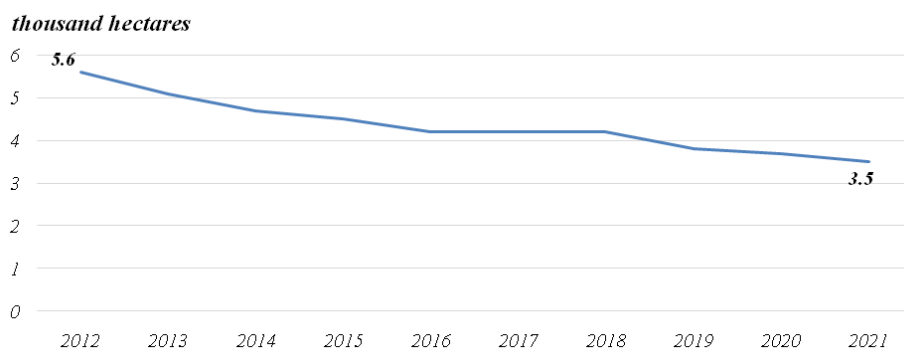


Fig. 6. Planting area of vegetables in the Irkutsk region for 2012–2021, thousand hectares

Производство овощей в Иркутской области в период с 2012 по 2021 гг. осуществлялось такими категориями хозяйств, как сельскохозяйственные организации, хозяйства населения, а также крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели. В начале анализируемого периода (2012 г.) общее производство овощей составило 132,9 тыс. т, в этом объеме львиную долю занимали объемы производства овощей хозяйствами населения – 72,2 %. В последующие годы производство овощей в регионе снижалось, достигнув 107 тыс. т в 2015 г. Однако начиная с 2016 года наблюдается некоторое увеличение производства овощей в области, и это увеличение достигло своего пика в 2018 г., когда было произведено 109,5 тыс. т овощей.

Структура производства овощей также претерпевала изменения. В начале исследуемого периода основную долю в этой структуре занимали хозяйства населения, в то время как сельскохозяйственные организации и крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели имели

меньшую долю в производстве. Однако с течением времени доля овощей, производимых сельскохозяйственными организациями, стала увеличиваться и достигла 21,8 % в 2021 г. Доля хозяйств населения в этой структуре сократилась до 67,6 %, в то время как крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели увеличили свой вклад, достигнув 11,1 % (рис. 7).

Можно сказать, что существенный вклад в производство овощей в регионе и самообеспечение ими своих семей вносят дачники. В Иркутской области насчитывается около 1,4 тыс. садоводческих некоммерческих товариществ граждан, объединяющих более 70 % жителей региона.

Этап 3. В рамках деятельности научной лаборатории «Экономические исследования» при кафедре экономики и бухгалтерского учета Иркутского государственного аграрного университета имени А. А. Ежевского с участием студентов и аспирантов было проведено анкетирование членов садоводческих некоммерческих товариществ граждан.

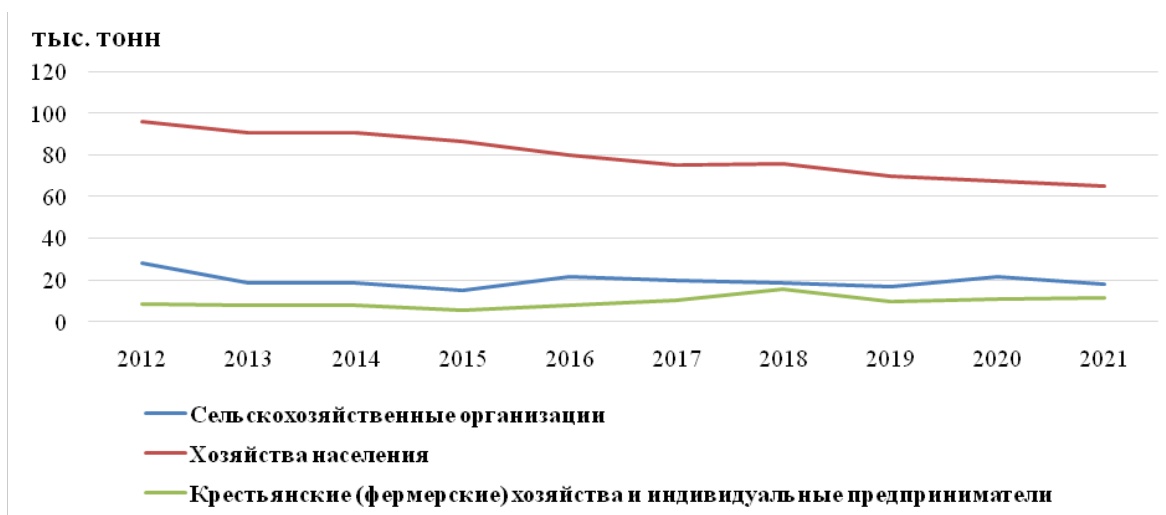


Рис. 7. Валовой сбор овощей в Иркутской области по категориям хозяйств за 2012–2021 гг., тыс. тонн

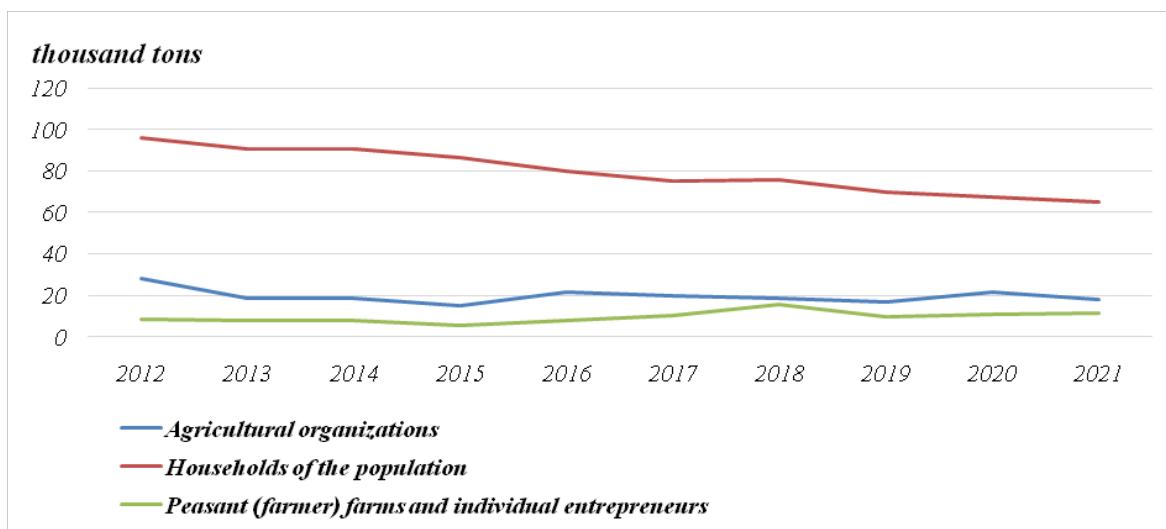


Fig. 7. Gross harvest of vegetables in the Irkutsk region by category of farms for 2012–2021, thousand tons

Этап 4. Результаты проведенного анкетирования позволили выявить следующую информацию о дачниках в Иркутской области. В среднем на каждого гражданина, обладающего дачными участками, приходится 2,37 соток земли, из этой площади 43,3 % занимают посадки садово-огородных культур. 95,6 % опрошенных дачников занимаются выращиванием разнообразных садово-огородных культур.

Согласно данным опроса, в течение сезона каждый дачник выращивает в среднем 130 кг овощей на одного человека. Этот объем включает в себя разные виды овощей, такие как капуста (19,2 кг), свекла (11,8 кг), морковь (13,8 кг), огурцы (26,2 кг), томаты (27,9 кг), лук (9,5 кг) и другие овощи (21,7 кг).

Отметим, что 82 % опрошенных дачников считают, что собранные овощи с их участков полностью удовлетворяют потребности их семей в овощах. Однако проведенные расчеты показали, что собственный урожай покрывает рациональные нормы потребления овощей только частично: капусты (23,6 %), свеклы (31,5 %), моркови (39,7 %), лука (46,3 %) и других овощей (40,4 %). С другой стороны, дачники выращивают больше огурцов (на 27,6 %) и томатов (на 35,2 %) по сравнению с рациональными нормами потребления.

Тем не менее следует учитывать, что в Сибирских регионах, включая Иркутскую область, основной сбор урожая приходится на короткий сезон, который охватывает всего три месяца (июль, август

и сентябрь). Поэтому не весь урожай может быть потреблен в свежем виде. Только 8,2 % респондентов занимаются реализацией излишков. Остальные 81,8 % опрошенных указали разные причины нереализации излишков овощей, такие как раздача родным, сдача в зоопарк (45 %), отсутствие места и времени для реализации (по 10 %), а также нежелание (30 %). Для долгосрочного сохранения овощей 95 % респондентов занимаются заготовками впрок.

В условиях резко континентального климата получить высокие урожаи некоторых овощных культур в открытом грунте невозможно, поэтому дачники стараются устанавливать на своих участках преимущественно неотапливаемые поликарбонатные теплицы (65,2 % опрошенных). Средняя площадь теплиц составляет 29,5 м² на семью. Большинство опрошенных предпочитают использовать покупной посевной материал. Выбор между покупным и собственным семенным материалом зависит от вида овощей и индивидуальных предпочтений дачников (рис. 8).

Отметим, что 60 % респондентов выразили недовольство качеством семенного материала, используемого для посадки овощей. Особенно низко оценивается качество семян моркови (23 % ответов) и капусты (20 %). Респонденты также указали на проблемы с всхожестью семян (60,9 % ответов) и несоответствие характеристик выращенных овощей заявленным параметрам.

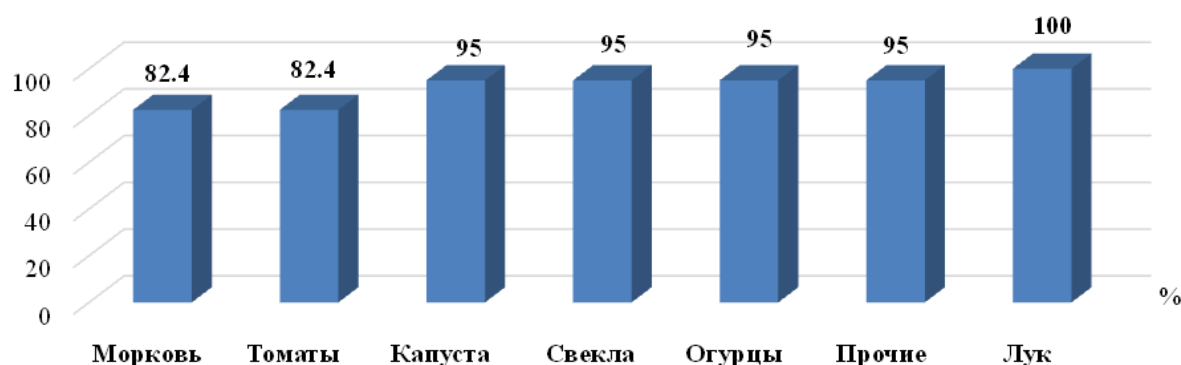


Рис. 8. Доля респондентов, использующих покупной семенной материал по видам культур, % от общего количества опрошенных

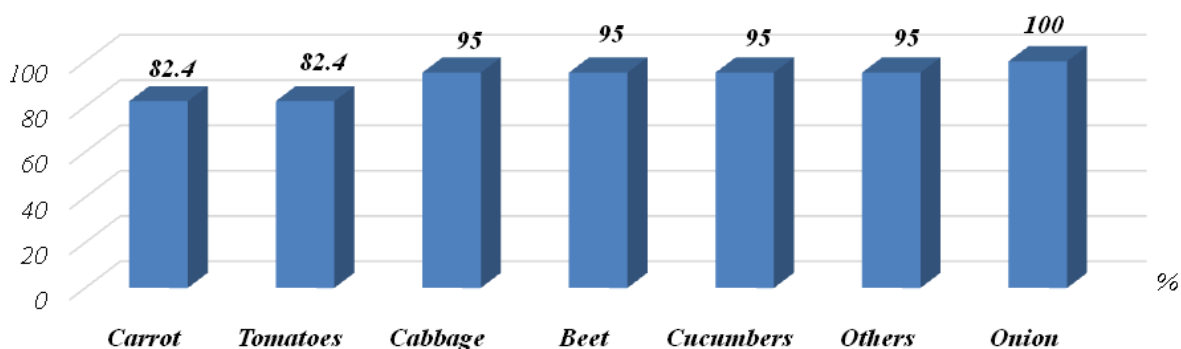


Fig. 8. The share of respondents using purchased seed material by crop type, % of the total number of respondents

Никто из респондентов не отдает предпочтение какому-либо одному производителю семян. Наиболее популярными фирмами, чьи семена используют дачники, являются «Аэлита» (13,9 % ответов), «Партнер» (11,4 %) и «Сибирский сад» (11,4 %).

Важно отметить, что в Иркутской области имеются районированные сорта овощей, которые были утверждены Министерством сельского хозяйства Иркутской области на основе проведенных сортоиспытательных работ. Например, для капусты белокочанной существует 13 раннеспелых сортов и 5 среднеспелых сортов, а также 7 среднепоздних сортов; для краснокочанной капусты – 8 сортов, а цветная капуста представлена 18 сортами и гибридами. Огурцов районировано 49 сортов и гибридов. Для выращивания в открытом грунте районировано только один сорт томатов – Алпатьева 905А, который был утвержден еще в 1952 году. Для пленочных необогреваемых теплиц рекомендуется использовать 17 гибридов, таких как Грифон, Альваро, Пирут и др.

Тем не менее, несмотря на наличие районированных сортов, стоит отметить, что они не всегда доступны для населения в продаже. Это может представлять собой проблему для дачников и людей, занимающихся выращиванием овощей в регионе.

Этап 5. Результаты анкетного опроса показали, что в садоводческих некоммерческих товариществах Иркутской области имеются значительные потенциальные резервы для увеличения производства овощей. Однако для реализации этого потенциала необходимо выявить препятствующие росту производства овощей у исследуемой категории сельхозтоваропроизводителей факторы.

1. **«Программы поддержки».** Опыт Министерства сельского хозяйства Иркутской области может быть использован для разработки программ поддержки садово-огородных некоммерческих товариществ граждан. В частности, необходимо рассмотреть вопрос о субсидировании бурения скважин на воду и их эксплуатации. Это поможет садоводам обеспечить стабильное водоснабжение для полива и других нужд. Кроме того, следует разработать меры по помощи в реализации излишков произведенной продукции, что позволит вовлечь их в организованный оборот и способствовать увеличению доходов садоводов.

2. **«Контроль над качеством семян».** Важным моментом является ужесточение контроля над качеством семенного и посадочного материала, который районирован под условия Иркутской области. Это позволит обеспечить садоводов высококачественными семенами, что, в свою очередь, способствует увеличению производства овощей на садово-огородных участках. Контроль над качеством семян должен осуществляться совместно органами власти и специализированными организациями.

3. **«Транспортная доступность».** Муниципальные и региональные органы власти должны предпринять меры по улучшению состояния дорог, ведущих к садово-огородным некоммерческим товариществам граждан. Корректировка маршрутов движения дачных автобусов, учитывая изменяющиеся потребности дачников, также является неотъемлемой частью данной задачи. Это позволит обеспечить более удобный и доступный транспортный доступ к садоводческим товариществам, что важно для садоводов, особенно для тех, кто зависит от общественного транспорта.

4. **«Перевод на прямые расчеты за электроэнергию».** Следует также оказать содействие членам садово-огородных некоммерческих товариществ в переводе на прямые расчеты за потребление электроэнергии с поставщиком услуг. Это поможет улучшить учет потребляемой энергии и более эффективно управлять энергоресурсами на садовых участках.

Решение данных проблем будет содействовать увеличению производства овощей в регионе, а также обеспечению населения свежими и качественными овощами.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Представленный методический подход, разработанный нами в рамках исследования, был успешно апробирован в условиях Иркутской области. Этот методический инструмент, основанный на анкетировании членов садоводческих некоммерческих товариществ граждан, позволяет оценить возможности увеличения производства овощей в первую очередь для удовлетворения потребностей своей семьи исходя из ресурсного потенциала садово-огородного участка.

Результаты нашего исследования показали, что значительная часть дачников обеспечивает себя свежими овощами. Имеющиеся незначительные излишки отдельных видов овощных культур возможно также вовлечь в организованный оборот, что позволит увеличить потребление овощей местным населением, приближая его к установленной рациональной норме потребления.

Разработанный методический подход может быть успешно использован органами власти на разных уровнях для разработки и реализации программ поддержки и развития садоводческих некоммерческих товариществ граждан в регионе. Он может служить основой для создания целенаправленных мер, таких как субсидирование бурения скважин на воду, совершенствование контроля над качеством семенного материала, улучшение инфраструктуры и транспортной доступности к садоводческим участкам, а также переход к прямым расчетам за потребление электроэнергии.

Данный методический подход применим не только в Иркутской области, может быть успешно использован в других регионах России, где садо-

водство и овощеводство являются важными аспектами обеспечения продовольственной безопасности и удовлетворения потребностей населения в свежих овощах.

Библиографический список

1. Башмачников В. Ф., Дрокин В. В., Журавлев А. С. Вовлечение крестьянских хозяйств в решение задач импортозамещения // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 2. С. 663–675. DOI: 10.17059/2018-2-26.
2. Бекетов А. В., Кувшинов В. А., Минаков И. А. Состояние и эффективность производства овощей // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 8. С. 84–89. DOI: 10.32651/208-84.
3. Белова Т. Н. Процессы импортозамещения в агропродовольственной сфере // Экономика региона. 2019. Т. 15. № 1. С. 285–297. DOI: 10.17059/2019-1-22.
4. Берендеева Е. В., Ратникова Т. А. О поселенческих и региональных различиях в воздействии продовольственного эмбарго на потребительские расходы // Вопросы экономики. 2022. № 3. С. 118–131. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-3-118-131.
5. Большешапова Н. И., Абрамова И. Н., Бояркин Е. В., Бурлов С. П. Современное состояние картофелеводства и овощеводства в Иркутской области // Картофель и овощи. 2019. № 12. С. 12–14 DOI: 10.25630/PAV.2019.93.16.003.
6. Винокуров Г. М., Винокуров С. И., Винокурова М. В. Современное состояние и перспективы развития регионального овощеводства // Вестник высших учебных заведений: Экономика, финансы и управление производством. 2019. № 4 (42). С. 71–77.
7. Зарецких А. А. Государственно-частное партнерство, как проект софинансирования в развитии инфраструктуры садоводческих товариществ // Проблемы современной экономики, права и естествознания в России – синтез наук в конкурентоспособной экономике: сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции. Воронеж – Ганновер, 2019. С. 98–101.
8. Иванько Я. М., Петрова С. А., Полковская М. Н., Федурин Н. И. Оценка рисков производства сельскохозяйственной продукции на территориях с резко континентальным климатом // Сложные системы в экстремальных условиях: материалы XIX Всероссийского симпозиума с международным участием. Красноярск, 2018. С. 95–98.
9. Калинина Л. А., Калинин Н. В., Зеленская И. А., Власенко О. В. Проблемы и перспективы развития садово-огородных сообществ в России // АПК: Экономика, управление. 2018. № 12. С. 25–30.
10. Карлова Н. А., Паюрова Е. Н., Галактионова Е. А. Оценка потерь продовольствия на этапе сельскохозяйственного производства в Российской Федерации // Вопросы экономики. 2023. № 5. С. 91–105. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-5-91-105.
11. Минаков И. А. Состояние и направления развития производства овощей в Тамбовской области // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1. С. 68–76.
12. Николаева Ф. В., Лукина Ф. А. Анализ производства картофеля и овощей в Якутии // Картофель и овощи. 2022. № 7. С. 10–13. DOI: 10.25630/PAV.2022.17.75.005.
13. Окладчик С. А. Оценка уровня развития картофелеводства и овощеводства в Иркутской области // Современные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса региона: сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов. Новосибирск, 2019. С. 462–467.
14. Полбицын С. Н. Роль предпринимательства в устойчивом развитии сельских территорий России // Экономика региона. 2021. Т. 17. № 2. С. 619–631. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-2-19.
15. Рыжкова С. М. Тенденции развития кооперативного рынка плодоовощной продукции России в условиях санкций // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2019. № 2. С. 86–96.
16. Серегина Т. С. Эволюция организационно-правовых форм объединений граждан в области садоводства и огородничества // Ленинградский юридический журнал. 2019. № 2 (56). С. 96–105.
17. Сурихина Т. Н., Мещерякова Р. А., Телегина Г. А. Особенности производства овощей в условиях пандемии COVID-19 // Картофель и овощи. 2021. № 9. С. 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2021.83.31.003.
18. Ушачев И. Г., Маслова В. В., Колесников А. В. Наращивание объемов агропромышленного производства для обеспечения продовольственной безопасности и увеличения экспортного потенциала АПК России // Экономика региона. 2022. Т. 18. № 4. С. 1178–1193. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-4-15.
19. Gupta D., Davidson B., Hill M., McCutcheon A., Singh Pandher M., MacDonald D. H., Hamilton A. J., Me-kala G. D. Vegetable cultivation as a diversification option for fruit farmers in the Goulburn Valley, Australia // International Journal of Agricultural Sustainability. 2021. No. 20 (2). Pp. 103–123. DOI: 10.1080/14735903.2021.1923286.

20. Mason-D’Croz D., Bogard J. R., Herrero M., Sulser T. B., Cenacchi N., Dunston S., Wiebe K. Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study // *The Lancet Planetary Health*. 2019. Vol. 3. No. 7. Pp. e318–e329. DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30095-6.

21. Monirul Alam G. M., Khatun Most Nilufa Impact of COVID-19 on vegetable supply chain and food security: Empirical evidence from Bangladesh // *PLoS ONE*. 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0248120.

22. Filipiak T., Wicki L. The structure of production factors in farms and their productivity the case of vegetable farms in Poland // *Polish Association of Agricultural Economists and Agribusiness*. 2021. Vol. XXIII. No. 3. Pp. 9–19. DOI: 10.5604/01.3001.0015.2695.

23. Umarxodjaeva M. Export Potential Development and Export Diversification of Fruit and Vegetable Products in Uzbekistan’s Economy [e-resource] // *Scientific Research Archive*. 2020. No. 35 (1). URL: <https://ejournal.tsue.uz/index.php/archive/article/view/3549> (date of reference: 20.08.2023).

Об авторах:

Людмила Алексеевна Калинина, доктор экономических наук, профессор, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, Иркутск, Россия; ORCID 0000-0002-3408-2417, AuthorID 642108. E-mail: lakalinina@mail.ru

Инга Андреевна Зеленская, кандидат экономических наук, доцент, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, Иркутск, Россия; ORCID 0000-0001-5866-4449, AuthorID 816760. E-mail: klausinga@mail.ru

Николай Владимирович Калинин, кандидат экономических наук, доцент, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, Иркутск, Россия; ORCID 0009-0009-5542-1404, AuthorID 756565. E-mail: mwwwm@list.ru

References

1. Bashmachnikov V. F., Drokin V. V., Zhuravlev A. S. Involvement of Rural Households in Solving the Problems of Import Substitution. *Economy of Region*. 2018; 14 (2): 663–675. DOI: 10.17059/2018-2-26. (In Russ.)

2. Beketov A. V., Kuvshinov V. A., Minakov I. A. The state and efficiency of vegetable production. *The economics of agriculture of Russia*. 2020; 8: 84–89. DOI: 10.32651/208-84. (In Russ.)

3. Belova T. N. The Processes of Import Substitution in the Agro-Food Sphere: Success or Failure? *Economy of Region*. 2019; 15 (1): 285–297. DOI: 10.17059/2019-1-22. (In Russ.)

4. Berendeeva E. V., Ratnikova T. A. Settlement and regional differences in the impact of the food embargo on household consumer spending. *Voprosy Ekonomiki*. 2022; 3: 118–131. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-3-118-131. (In Russ.)

5. Bol’sheshapova N. I., Abramova I. N., Boyarkin E. V., Burlov S. P. Current state of potato and vegetable growing in Irkutsk region. Potatoes and vegetables. 2019; 12: 12–14. DOI: 10.25630/PAV.2019.93.16.003. (In Russ.)

6. Vinokurov G. M., Vinokurov S. I., Vinokurova M. V. The current state and prospects of development of regional vegetable growing. *Bulletin of Higher Educational Institutions: Economics, Finance and Production Management*. 2019; 4 (42): 71–77. (In Russ.)

7. Zaretskikh A. A. Public-private partnership as a co-financing project in the development of the infrastructure of horticultural partnerships. *Problems of modern economics, law and natural sciences in Russia – synthesis of sciences in a competitive economy: collection of articles based on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Voronezh – Hanover, 2019. Pp. 98–101. (In Russ.)

8. Ivan’o Ya. M., Petrova S. A., Polkovskaya M. N., Fedurina N. I. Risk assessment of agricultural production in territories with sharply continental climate. *Complex systems in extreme conditions: materials of the XIX All-Russian Symposium with international participation*. Krasnoyarsk, 2018. Pp. 95–98. (In Russ.)

9. Kalinina L. A., Kalinin N. V., Zelenskaya I. A., Vlasenko O. V. Problems and prospects of development of horticultural communities in Russia. *AIC: economics, management*. 2018; 12: 25–30. (In Russ.)

10. Karlova N. A., Payurova E. N., Galaktionova E. A. Assessment of food losses at the stage of agricultural production in the Russian Federation. *Voprosy Ekonomiki*. 2023; 5: 91–105. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-5-91-105. (In Russ.)

11. Minakov I. A. The state and directions of development of vegetable production in the Tambov region. *Science and Education*. 2022; 5 (1): 68–76. (In Russ.)

12. Nikolaeva F. V., Lukina F. A. Analysis of potato and vegetable production in Yakutia. *Potatoes and vegetables*. 2022; 7: 10–13. DOI: 10.25630/PAV.2022.17.75.005. (In Russ.)

13. Okladchik S. A. Assessment of the level of development of potato and vegetable growing in the Irkutsk region. *Modern problems and prospects for the development of the region's agro-industrial complex: a collection of proceedings of the scientific and practical conference of teachers, graduate students, undergraduates and students*. Novosibirsk, 2019. Pp. 462–467. (In Russ.)
14. Polbitsyn S. N. The role of entrepreneurship in the sustainable development of rural areas of Russia. *Economy of Region*. 2021; 17 (2): 619–631. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-2-19. (In Russ.)
15. Ryzhkova S. M. Trends in the development of the cooperative market of fruit and vegetable products in Russia under sanctions. *Fundamental and applied research of the cooperative sector of the economy*. 2019; 2: 86–96. (In Russ.)
16. Seregina T. S. Evolution of organizational and legal forms of citizens' associations in the field of horticulture and horticulture. *Leningrad Law Journal*. 2019; 2 (56): 96–105. (In Russ.)
17. Surikhina T. N., Meshcheryakova R. A., Telegina G. A. Features of vegetable production in the conditions of the COVID-19 pandemic. *Potatoes and vegetables*. 2021; 9: 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2021.83.31.003. (In Russ.)
18. Ushachev I. G., Maslova V. V., Kolesnikov A. V. Increasing the volume of agro-industrial production to ensure food security and increase export potential of the agro-industrial complex of Russia. *Economy of Region*. 2022; 18 (4): 1178–1193. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-4-15. (In Russ.)
19. Gupta D., Davidson B., Hill M., McCutcheon A., Singh Pandher M., MacDonald D. H., Hamilton A. J., Mekala G. D. Vegetable cultivation as a diversification option for fruit farmers in the Goulburn Valley, Australia. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2021; 20 (2): 103–123. DOI: 10.1080/14735903.2021.1923286.
20. Mason-D'Croz D., Bogard J. R., Herrero M., Sulser T. B., Cenacchi N., Dunston S., Wiebe K. Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*. 2019; 3 (7): e318–e329. DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30095-6.
21. Monirul Alam G. M., Khatun Most Nilufa Impact of COVID-19 on vegetable supply chain and food security: Empirical evidence from Bangladesh. *PLoS ONE*. 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0248120.
22. Filipiak T., Wicki L. The structure of production factors in farms and their productivity the case of vegetable farms in Poland. *Polish Association of Agricultural Economists and Agribusiness*. 2021; XXIII (3): 9–19. DOI: 10.5604/01.3001.0015.2695.
23. Umarxodjaeva M. Export Potential Development and Export Diversification of Fruit and Vegetable Products in Uzbekistan's Economy. *Scientific Research Archive* [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 20]; 35 (1). Available from: <https://ejournal.tsue.uz/index.php/archive/article/view/3549>.

Author's information:

Lyudmila A. Kalinina, doctor of economic sciences, professor, Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia; ORCID 0000-0002-3408-2417, AuthorID 642108.

E-mail: lakalinina@mail.ru

Inga A. Zelenskaya, candidate of economic sciences, associate professor, Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia; ORCID 0000-0001-5866-4449, AuthorID 816760.

E-mail: klausinga@mail.ru

Nikolay V. Kalinin, candidate of economic sciences, associate professor, Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia; ORCID 0009-0009-5542-1404, AuthorID 756565.

E-mail: mwwm@list.ru

Региональная цифровая платформа АПК: оценка эффективности

М. В. Киварина[✉]

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

[✉]E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru

Аннотация. В настоящее время на всех уровнях государственного управления признается необходимость формирования цифровой экономики и общества, а цифровые технологии рассматриваются как один из ключевых драйверов устойчивого экономического развития. В соответствии с ведомственным проектом «Цифровое сельское хозяйство» актуальной задачей развития агропромышленного комплекса (АПК) является стратегический прорыв за счет внедрения цифровых технологий, способных существенно повысить результативность большинства производственных процессов. **Цель статьи** – развитие методологии и разработка методики комплексной оценки эффективности внедрения и функционирования региональной цифровой платформы АПК. **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 2022 г., а также плановые и отчетные показатели приоритетного регионального проекта «Цифровое сельское хозяйство», используемые в авторской методике, базирующейся на концептуальной триаде оценки экономической эффективности. **Научная новизна** исследования заключается в формировании оригинального подхода к разработке инструментов и методов комплексной оценки цифровых преобразований в АПК, позволяющих выявить возможные направления роста экономической и управленческой эффективности функционирования сельскохозяйственных отраслей в новой цифровой формации. **Результаты исследования.** Представлена авторская схема региональной цифровой платформы агропромышленного комплекса на примере Новгородской области, развита методология оценки аллокационных преимуществ от последовательного вовлечения всех субъектов агропромышленного комплекса в единое цифровое пространство с учетом специфики их деятельности и готовности к цифровым преобразованиям. Разработана методика комплексной оценки эффективности внедрения и функционирования региональной цифровой платформы, позволяющая своевременно выявлять «слабые звенья» в отдельных модулях и элементах цифровой платформы АПК и оперативно их устранять, что может быть особенно полезно для принятия стратегически верных управленческих решений.

Ключевые слова: цифровизация, цифровая платформа, региональный АПК, экономическая эффективность, результативность, управленческая эффективность

Для цитирования: Киварина М. В. Региональная цифровая платформа АПК: оценка эффективности // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 286–296. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-286-296>.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке государственного областного автономного учреждения «Новгородский центр развития инноваций и промышленности» посредством предоставления финансовой поддержки физическим лицам, осуществляющим научную деятельность на территории Новгородской области.

Дата поступления статьи: 27.07.2023, **дата рецензирования:** 09.10.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

Regional digital platform for the agro-industrial complex: efficiency assessment

M. V. Kivarina 

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

 E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru

Abstract. Currently, the need for the formation of a digital economy and society is recognized at all levels of government, and digital technologies are considered as one of the key drivers of sustainable economic development. In accordance with the departmental project “Digital Agriculture”, the urgent task of the development of the agro-industrial complex (AIC) is a strategic breakthrough through the introduction of digital technologies that can significantly increase the effectiveness of most production processes. **The purpose of the article:** the development of methodology and the development of a methodology for a comprehensive assessment of the effectiveness of the implementation and functioning of the regional digital platform of the agro-industrial complex. **Research methods:** scientific and theoretical generalization of existing approaches and methods for assessing key parameters of digitalization processes in the agro-industrial sector. The statistical data for Russia and the Novgorod Region for 2022, as well as the planned and reporting indicators of the priority regional project “Digital Agriculture” used in the author’s methodology based on the conceptual triad of economic efficiency assessment, serve as an information source of the study. **The scientific novelty** of the research lies in the formation of an original approach to the development of tools and methods for the comprehensive assessment of digital transformations in the agro-industrial complex, which allow identifying directions for the growth of economic and managerial efficiency of the functioning of agricultural industries in a new digital formation. **Research results.** The author’s scheme of the regional digital platform of the agro-industrial complex is presented on the example of the Novgorod region, the methodology for assessing the allocation benefits from the consistent involvement of all subjects of the agro-industrial complex in a single digital space is developed, taking into account the specifics of their activities and readiness for digital transformation. A methodology has been developed for a comprehensive assessment of the effectiveness of the implementation and functioning of the regional digital platform, which allows timely identification of “weak links” in individual modules and elements of the digital platform of the agro-industrial complex and promptly eliminate them, which can be especially useful for making strategically correct management decisions.

Keywords: digitalization, digital platform, regional agro-industrial complex, economic efficiency, efficiency, managerial efficiency

For citation: Kivarina M. V. Regional digital platform for the agro-industrial complex: efficiency assessment. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (2): 286–296. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-286-296>. (In Russ.)

Acknowledgements. The research was carried out with the support of the state regional autonomous institution “Novgorod Center for the Development of Innovation and Industry” by providing financial support to individuals carrying out scientific activities in the territory of Novgorod region.

Date of paper submission: 27.07.2023, **date of review:** 09.10.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

На сегодняшний день общее число людей, проживающих на нашей планете, превысило 8,1 млрд человек. Численность населения растет стремительными темпами, за которыми не успевает прирост производства продукции и услуг [1]. Сельское хозяйство – одна из ключевых отраслей российской экономики, перед которой поставлена задача быстрого наращивания производственного потенциала с целью удовлетворения растущих потребностей общества и обеспечения продовольственной безопасности всей страны и отдельных ее регионов. Для решения поставленной задачи 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 затрагивает все направления сельскохозяйственной деятельности, с разной степенью интенсивности проникая в каждую из трех сфер АПК: внедрение цифровых технологий в сельскохозяйственное строительство, комбикормовую промышленность,

микробиологическую промышленность, сельскохозяйственное машиностроение и материально-техническое обеспечение; цифровизация животноводства и растениеводства, формирование цифрового сельского хозяйства; использование элементов цифровых технологий в легкой и пищевой промышленности, цифровизация процессов транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ее реализации и систем обслуживания.

Следует отметить, что каждая отрасль АПК самостоятельно определяет приоритеты для своего развития в цифровой сфере. Однако в целом применение цифровых технологий способствует положительным изменениям во всей системе агропромышленного производства и управления [2]. Происходит постепенный отказ сельхозпроизводителей от процессной бизнес-модели в пользу объектно-субъектной модели, позволяющей наращивать предпринимательский потенциал посредством конструктивного взаимодействия всех заинтересованных субъектов с целью достижения целей развития агропромышленного комплекса как в целом по России, так и в отдельных регионах.

Несмотря на наблюдающееся в настоящее время активное внедрение субъектами АПК разнообразных цифровых элементов хозяйствования, на сегодняшний день в научной теории не разработана единая методология оценки эффективности внедрения и функционирования цифровой платформы регионального агропромышленного сектора. Более того, нуждается в совершенствовании и сама архитектура единой цифровой платформы АПК, которую автор рассматривает как полноценную экосистему IT-решений, позволяющую не точечно, а комплексно реализовывать проекты типа «Умное поле», «Умный сад», «Умная теплица», «Умная ферма» и другие.

Отдельные аспекты цифровой трансформации агропромышленного комплекса рассматриваются в российских и зарубежных исследованиях [3–5], при этом акцент делается на описании разрозненных элементов цифровизации, в то время как вопросы масштабной интеграции взаимосвязанных IT-решений в региональный агропромышленный комплекс остаются открытыми. Для решения данной проблемы автором предложено системное видение цифровой платформы АПК, а также разработана методика комплексной оценки ее функционирования.

Методология и методы исследования (Methods)

Методология оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК представляет собой совокупность подходов и методов оценивания ключевых параметров процессов цифровизации, включая систему принципов и способов измерения результативности и безопасности функционирования цифровых инструментов.

На наш взгляд, методология оценки включает ряд последовательно взаимосвязанных между собой этапов:

1. Задание целей и ожиданий. Прежде всего необходимо определить конкретные цели и потенциальные ожидания от внедрения цифровой платформы в региональный агропромышленный комплекс. Такими целями могут быть повышение производительности в отраслях АПК региона, автоматизация процессов сельскохозяйственного производства, улучшение качества производимой продукции (услуг), сокращение среднеотраслевых затрат в регионе и т. д. Четко поставленные цели помогут верно оценить последующие результаты.

2. Выявление ключевых параметров цифровой платформы: определение принципов построения цифровых платформ; изучение подходов и методов выбора архитектурных решений отраслевых цифровых платформ; разработка системы показателей, отражающих качественные и количественные характеристики стабильности функционирования цифровой платформы.

3. Разработка методики построения оценочной шкалы показателей эффективности внедрения и функционирования цифровой платформы АПК. В настоящее время в теории и на практике существуют различные методики, позволяющие оценить эффективность внедрения цифровых технологий в сельское хозяйство и агропромышленный комплекс в целом [6–8]. Вместе с тем динамизм цифровой трансформации АПК, множественность показателей, отражающих уровень цифрового развития, их существенная дифференциация по отраслям и регионам, а также сложность и многогранность последствий цифровизации, которые зачастую сложно свести к единой количественной оценке, актуализируют задачу поиска нового инструментария, способного комплексно и системно учитывать все факторы, предопределяющие эффективность внедрения цифровой платформы в АПК во взаимосвязи и взаимозависимости.

4. Сбор данных и апробация методики: выбор и привлечение экспертов; исследовательский эксперимент; оценка эффективности функционирования платформы через конечный результат (прирост активов, прирост капитала и др.); оценка соотношения эффекта к затратам; интерпретация полученных результатов.

5. Выводы. Полученные результаты должны быть не только правильно интерпретированы, но и представлены в виде соответствующих отчетов. Помимо описания методологии оценки и анализа имеющихся данных, отчеты должны содержать основные выводы и рекомендации по дальнейшим направлениям совершенствования работы региональной цифровой платформы АПК. Особое внимание на данном этапе следует уделить следующим

вопросам: архитектура собственности; систематизация потенциальных выгод от внедрения платформы; построение статических и динамических моделей; эволюционная динамика платформы.

Авторская методика построения оценочной шкалы показателей эффективности внедрения и функционирования цифровой платформы способствует получению критических результатов, среди которых наличие сетевого эффекта (саморастущая клиентская база); возможность «бесшовного» перехода между цифровыми платформами; снижение рисков цифровой трансформации отраслей АПК и обеспечение кибербезопасности.

Предлагаемая методология направлена на оценку аллокационной эффективности экономики, выражающейся в увеличении чистых выгод размещения и использования ограниченных ресурсов на основе последовательного вовлечения всех субъектов агропромышленного комплекса в единое цифровое пространство (цифровую платформу) с учетом специфики их деятельности и готовности к цифровым преобразованиям. При этом положительный экономический эффект от внедрения цифровых технологий возможен на каждом этапе цифровизации.

В качестве основного экономического эффекта от внедрения региональной цифровой платформы АПК автором рассматривается формирование эффективной цифровой экосистемы данных, позволяющей осуществлять качественное планирование и управление сельскохозяйственной деятельностью региона.

Результаты (Results)

Основой агропромышленного комплекса Новгородской области является сельскохозяйственное производство, обеспечивающее стабильный рост АПК и продовольственную безопасность. Рейтинговая оценка инновационности сельского хозяйства показала, что Новгородская область находится на 7 месте среди административно-территориальных единиц Северо-Западного федерального округа, следовательно, требует активного привлечения инновационных технологий в отраслевую среду. Таким инструментом является цифровая платформа [9], посредством внедрения которой в сельское хозяйство Новгородской области могут быть решены следующие задачи:

- интеграция отдельных, разрозненных данных в единую многофункциональную систему – актуальную базу данных об участниках сельскохозяйственного производства на уровне региона (сельскохозяйственные организации, хозяйства населения, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели), посевных площадях, пастбищах, количестве сельскохозяйственной техники, поголовья скота, семян, удобрений и т. д.;

- получение точной, оперативной информации на основе аккумулированных данных, в том числе

в режиме реального времени (при использовании облачных сервисов и интернет-технологий) для ее использования в принятии своевременных управленческих решений и составления отчетной документации;

- создание современной комплексной системы мониторинга земель посредством применения адаптивных дистанционных методов формирования информационной базы на основе спутниковых навигационных систем сбора и обработки данных (ГЛОНАСС, GPS, космические снимки, использование беспилотников) и последующая ее интеграция в цифровую платформу управления техникой (интернет вещей) [10; 11];

- оперативный и широкомасштабный доступ всех сельхозпроизводителей к цифровым сельскохозяйственным инструментам (цифровое поле, цифровое стадо, умная теплица, умная ферма, цифровая логистика), применение мобильных приложений для решения текущих задач;

- преодоление асимметричности информации и повышение уровня прозрачности функционирования агрорынков как для сельхозпроизводителей, так и для потребителей готовой продукции посредством цифровой маркировки сырья, товаров и услуг (идентификация скота, метки оборудования, отслеживающие устройства), а также использование торговых онлайн-площадок, обеспечивающих равный доступ всех продавцов и покупателей на рынок;

- увеличение числа ИТ-специалистов в сельском хозяйстве, подготовленных на основе отечественных стандартов, методик и программ обучения) при одновременном отказе от импортных программных продуктов и зарубежной сельскохозяйственной техники.

В общем виде схему региональной платформы цифрового агропромышленного комплекса Новгородской области можно представить как непрерывный процесс взаимодействия пользователей платформы с целью обеспечения устойчивого развития всех отраслей АПК (рис. 1).

В верхней части рисунка представлены ключевые модули региональной цифровой платформы АПК. Каждый из них отвечает за решение конкретной задачи, определенной Стратегией социально-экономического развития Новгородской области [12]: сбор, хранение и централизованное управление актуальными данными; гибкая система аналитики и отчетных документов, доступная для всех пользователей ресурса; административное сопровождение реализации бизнес-планов инновационных АПК-проектов, привлечение инвесторов, формирование реестра проектов; формирование кадрового резерва для отраслей регионального АПК с учетом Атласа новых профессий; набор специальных приложений, позволяющих пользователям оперативно решать стандартизированные задачи. Поскольку,

как показывают исследования [13, с. 3], основным средством доступа в интернет являются смартфоны, вопрос разработки и применения мобильных приложений цифровой платформы имеет особую актуальность.

Приведенный на схеме перечень модулей цифровой платформы регионального АПК является базовым и может быть дополнен компонентами с другой функциональностью. Например, в систему может быть интегрирована возможность анализировать и передавать данные специальным службам при возникновении чрезвычайных ситуаций – наводнений, пожаров, проникновения на территорию предприятий посторонних лиц. Представленная цифровая платформа может выступать агрегатором для других сайтов или платформ, связанных с аграрным сектором [14].

По ходу внедрения и эксплуатации региональной платформы АПК могут быть использованы разнообразные цифровые технологии, такие как большие данные (Big Data); искусственный интеллект; система распределенного реестра (Blockchain); аддитивные технологии; интернет вещей (IoT); робототехника и сенсорика; беспроводная связь; виртуальная и дополненная реальность; цифровые двойники; GPS-навигация, высокоточное геопозиционирование с использованием системы ГЛОНАСС; точное земледелие и т. д. [15].

Помимо описания структуры предлагаемой цифровой платформы, ее функциональных модулей, технологий, их воздействия на инновационные процессы в региональном АПК, определенный интерес представляет измерение ожидаемой экономической эффективности от ее внедрения. В качестве методики оценки эффективности функционирования цифровой платформы АПК можно использовать как имеющиеся научные разработки [6–8; 16; 17], так и некий новый подход, поскольку ни одна из существующих методик не является на сегодняшний день общепризнанной. Очевидно, что в качестве базиса в данном вопросе необходимо использовать комплексный анализ, предполагающий оценку эффективности всех модулей и элементов цифровой платформы посредством расчета системы взаимосвязанных качественных и количественных показателей.

Экономическая эффективность любых технических или технологических трансформаций, в том числе цифровых, представляет собой своего рода концептуальную триаду:

1) эффективность как соотношение полученных выгод (доходов) и понесенных затрат (издержек). Внедрение цифровой платформы будет целесообразным при положительном значении данного показателя;

2) эффективность как степень достижения целей трансформационных процессов (результатив-

ность). Внедрение цифровой платформы будет оправдано при достижении в отраслях АПК региона запланированных результатов (плановых показателей) к заданному сроку;

3) эффективность как уровень рациональности используемых ресурсов (оптимизация в условиях неопределенности). Объективным признаком правильной работы цифровой платформы должно стать повышение качества управленческих решений, сопряженных с многочисленными рисками (снижение количества ошибок, более быстрое достижение стратегических целей региональными сельхозпроизводителями).

Следует отметить, что существующие методики оценки эффективности цифровых технологий, в том числе в АПК, основываются на какой-либо одной из перечисленных составляющих названной «триады». Чаще всего это первый элемент, в основе которого лежит расчет экономического эффекта как абсолютного или относительного результата внедрения цифровой платформы.

На наш взгляд, комплексная оценка эффективности функционирования цифровой платформы АПК должна включать систему показателей по каждому элементу «триады», что позволит системно оценить как экономические, так и управленческие результаты. В агрегированном виде методика оценки эффективности функционирования цифровой платформы АПК на региональном уровне представлена на рис. 2.

На основе имеющихся статистических данных рассчитаем показатели эффективности внедрения цифровой платформы АПК в Новгородской области. Для определения эффективности как результата были использованы показатели (индикаторы), обозначенные как целевые в приоритетном региональном проекте «Цифровое сельское хозяйство». Показатели оценки управленческой эффективности были определены экспертным методом как средние по выборке агрохозяйств Новгородской области, внедривших цифровые технологии в свою деятельность (таблица 1).

Положительное значение относительного экономического эффекта (E) свидетельствует о покрытии понесенных затрат на внедрение элементов цифровизации дополнительными доходами от использования цифровой платформы в АПК региона. Значение показателя результативности (R) на уровне, не превышающем единицу, позволяет сделать вывод о невыполнении ряда плановых показателей регионального проекта «Цифровое сельское хозяйство» в Новгородской области в 2022 г. Значение показателя управленческой эффективности (M) на уровне, превышающем единицу, свидетельствует о повышении качества управленческих решений в связи с переходом на цифровые технологии.

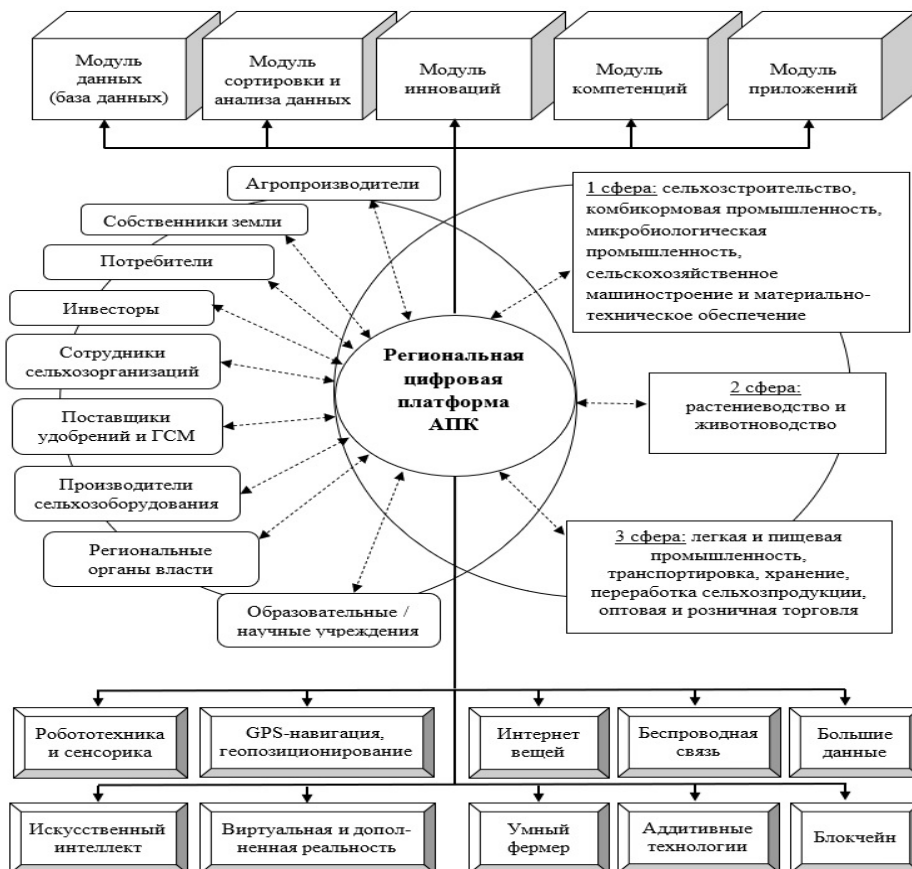


Рис. 1. Региональная цифровая платформа АПК
 Источник: составлено автором

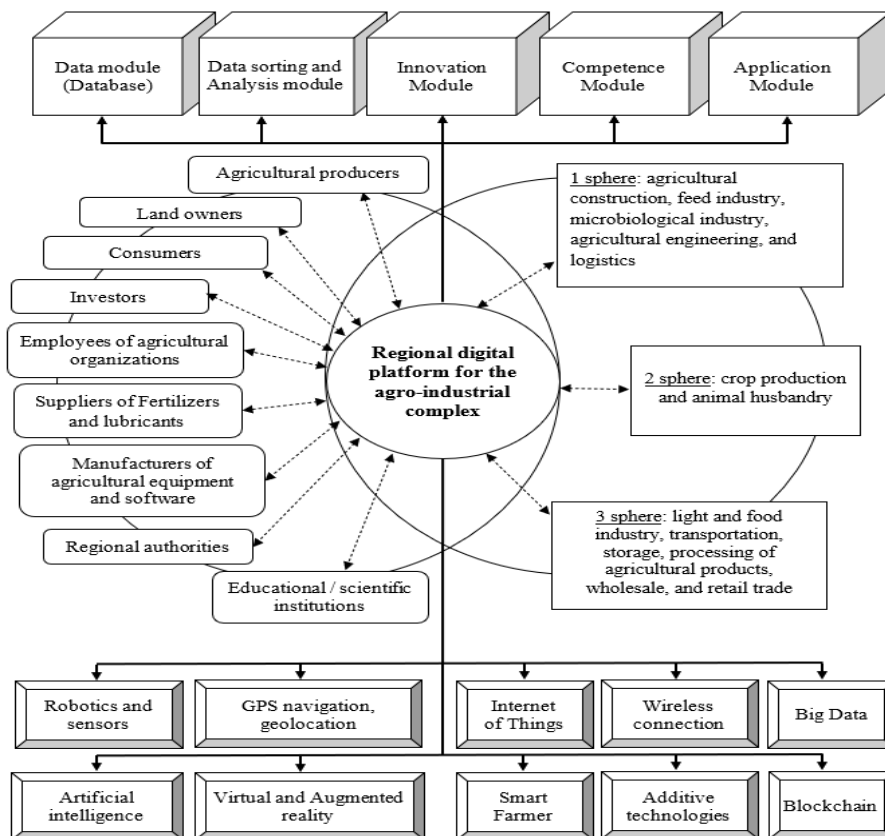


Fig. 1. Regional digital platform for the agro-industrial complex
 Source: compiled by the author

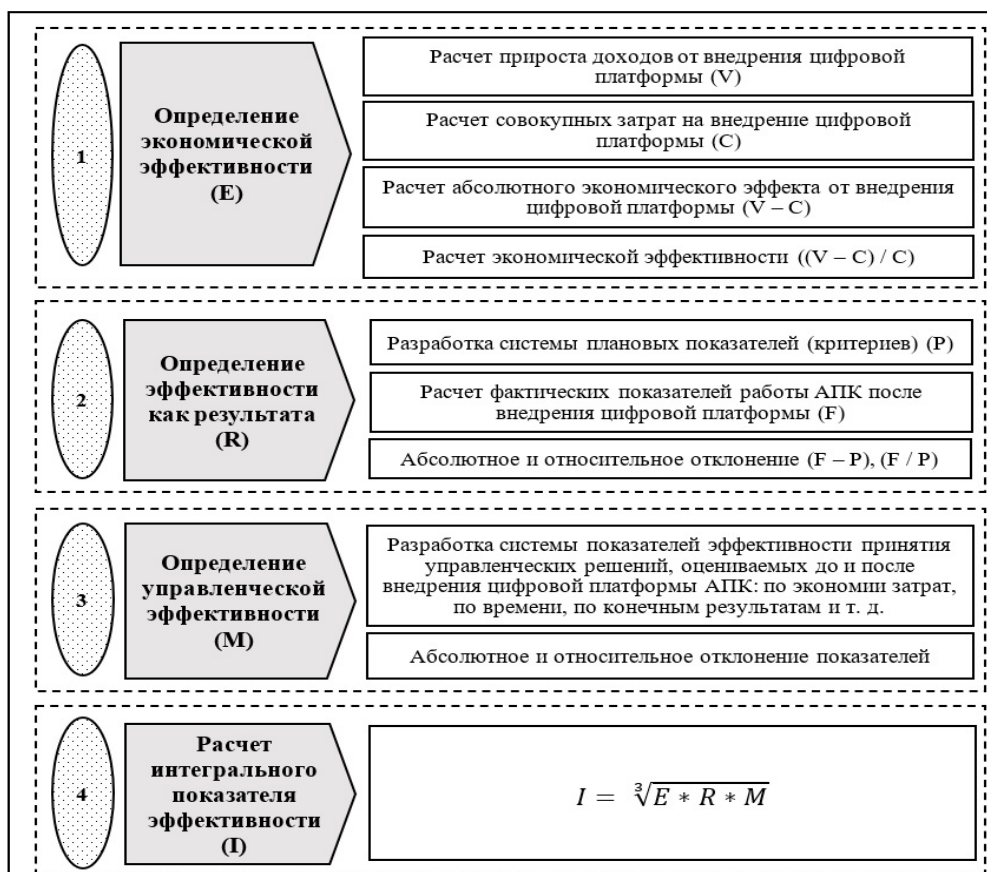


Рис. 2. Методика комплексной оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК
 Источник: составлено автором

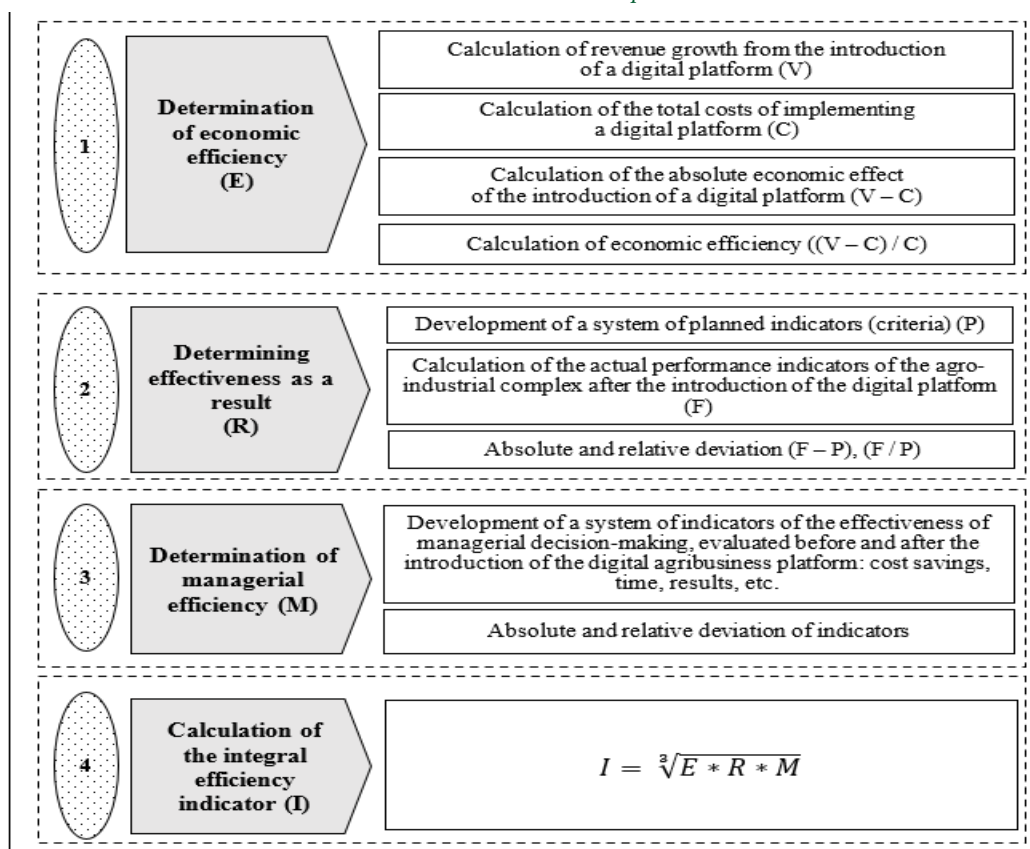


Fig. 2. Methodology of comprehensive assessment of the functioning effectiveness the regional digital platform for the agro-industrial complex
 Source: compiled by the author

Показатели эффективности внедрения региональной цифровой платформы АПК (2022 г.)

№	Показатели	Значение
1. Расчет экономической эффективности		
1	Затраты (инвестиции), руб.	2 608 200
2	Прирост доходов, руб.	3 296 911
3	Абсолютный эффект, руб.	688 711
4	Относительный эффект (экономическая эффективность) (E)	0,26
2. Расчет показателей результативности		
5	Доля данных об объектах с/х ресурсов (земля, скот, с/х техника), включенных в проект «Цифровое сельское хозяйство»:	
	– с/х земли (% отклонения)	0,80
	– с/х животные (% отклонения)	0,68
	– с/х техника (% отклонения)	0,70
6	Коэффициент снижения затрат на производство с/х продукции и продовольствия (% отклонения)	1,10
7	Доля материальных затрат в себестоимости единицы с/х продукции (ГСМ, удобрения, электроэнергия, посадочный материал, корма и др.) (% отклонения)	0,90
8	Коэффициент роста производительности труда на с/х предприятиях (% отклонения)	1,10
9	Доля инвестиций на покупку и внедрение цифровых технологий и цифровых продуктов (% отклонения)	0,71
10	Доля с/х сырья и готовой продукции, отслеженной и отгруженной на экспорт интеллектуальной системой «Агроэкспорт» (% отклонения)	0,56
11	Доля специалистов с/х предприятий, прошедших переподготовку по работе с цифровыми технологиями (% отклонения)	1,20
12	Эффективность как результат (R)	0,84
3. Расчет управленческой эффективности		
13	Повышение скорости принятия решений (% отклонения)	1,12
14	Сокращение числа допущенных ошибок (% отклонения)	1,05
15	Коэффициент численности управленческих работников (% отклонения)	1,30
16	Коэффициент затрат на управление (% отклонения)	1,14
17	Результативность управления (% отклонения)	1,26
18	Управленческая эффективность (M)	1,17

Источник: рассчитано автором на основе [18–20] с использованием [21].

Table 1
Performance indicators of the implementation of the regional digital platform for the agro-industrial complex (2022)

№	Indicators	Meaning
1. Calculation of economic efficiency		
1	Costs (investments), rub.	2 608 200
2	Income growth, rub.	3 296 911
3	Absolute effect, rub.	688 711
4	Relative effect (economic efficiency) (E)	0.26
2. Calculation of performance indicators		
5	The share of data on agricultural resources (land, livestock, agricultural machinery) included in the Digital Agriculture project:	
	– agricultural land (% of deviation)	0.80
	– agricultural animals (% of deviation)	0.68
	– agricultural machinery (% of deviation)	0.70
6	Coefficient of reduction of costs to produce agricultural products and food (% of deviation)	1.10
7	The share of material costs in the unit cost of agricultural products (fuel, fertilizers, electricity, planting material, feed, etc.) (% of deviation)	0.90
8	Labor productivity growth rate at agricultural enterprises (% of deviation)	1.10
9	Share of investments in the purchase and implementation of digital technologies and digital products (% of deviation)	0.71
10	Share of agricultural raw materials and finished products tracked and exported by the Agroexport intelligent system (% of deviation)	0.56
11	The share of specialists of agricultural enterprises who have been retrained in working with digital technologies (% of deviation)	1.20
12	Efficiency as a result (R)	0.84
3. Calculation of managerial efficiency		
13	Increased decision-making speed (% of deviation)	1.12
14	Reduction of the number of errors made (% of deviation)	1.05
15	The ratio of the number of managerial employees (% of deviation)	1.30
16	Management cost ratio (% of deviation)	1.14
17	Management effectiveness (% of deviation)	1.26
18	Managerial efficiency (M)	1.17

Source: compiled by the author on the basis of [18–20] using [21]

В итоге интегральный показатель эффективности функционирования цифровой платформы в АПК Новгородской области в 2022 г. составил 0,63, что позволяет в целом положительно охарактеризовать происходящие цифровые трансформации в агропромышленном комплексе региона. В будущем данное значение показателя можно анализировать в динамике, а также сравнивать с аналогичным показателем, рассчитанным по другим регионам России.

Предложенная методика позволяет не только количественно оценить полный комплекс эффектов от функционирования цифровой платформы в АПК, но и выявить «узкие места», ключевые проблемы в отдельных цифровых модулях и элементах. Это позволит региональному правительству вовремя принимать соответствующие решения по преодолению выявленных сложностей и направлять необходимые ресурсы (административные, финансовые, управленческие) для нивелирования обнаруженных проблемных зон и преобразования их в новые потенциальные точки роста.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что при наличии значительного числа исследований в области цифровизации АПК и сельского хозяйства цифровой потенциал отрасли до сих пор остается в полной мере не раскрытым. Причина этого феномена кроется в трудности расчета ряда качественных показателей, а также мультипликативных эффектов от внедрения цифровой платформы в агропромышленный комплекс региона. Процесс цифровизации АПК пока еще находится в самом начале своего пути, поэтому качество имеющихся сегодня прогнозных оценок его будущих результатов может быть существенно завышено или занижено.

Представленная в статье методология оценки эффективности функционирования цифровой платформы АПК может быть положена в основу одного из ее дополнительных модулей, в результате чего посредством искусственного интеллекта система сможет самостоятельно оценивать перспективы цифровизации отдельных хозяйств и отраслей.

Подходя более конкретно к рекомендациям в части инновационного обеспечения сельскохозяйственных предприятий АПК Новгородской области, выделим следующие задачи, которые необходимо решить в настоящее время:

1) постоянное совершенствование технико-технологического обеспечения функционирования производственной деятельности на основе внедрения передовых достижений науки и техники;

2) применение технологий сити-фермерства (аэропоника, гидропоника, хайпоника с усовершенствованной автоматикой и системой управления) и роботизированных теплиц;

3) снижение доли материальных затрат, особенно на горюче-смазочные материалы, в себестоимости продукции за счет внедрения энергосберегающих технологий, применения биологических видов топлива и т. д.;

4) улучшение кадрово-трудового потенциала в качественном аспекте (образование, квалификация) в части обладания компетенциями в области цифровой экономики по работе с цифровыми продуктами и технологиями;

5) тотальное использование цифровых технологий в АПК цифровых систем для сбора, анализа и обработки больших массивов данных; автоматизированной агропромышленной техники; энерго- и ресурсосберегающих машин с возможностями высокоточного геопозиционирования и пр.

Цифровизация сегодня является главной движущей силой развития всех отраслей экономики. Это свершившийся факт, и бесспорность необходимости постоянного совершенствования организационно-экономической среды хозяйствования очевидна. Инновации, их эффективная, целенаправленная диффузия с современным цифровым инструментарием обеспечивают постоянную поддержку развития субъектов хозяйствования на современных динамичных рынках. Поэтому формирование эффективной цифровой среды инновационного обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий – это не только проблема самих сельхозпроизводителей, но и региональных и государственных органов власти, которую нужно системно решать в ближайшей перспективе.

Библиографический список

1. Hrytsiuk P., Parfeniuk O., Shevchenko I. The logistic dynamics of population growth as a prerequisite for global sustainable development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1126. Article number 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1126/1/012030.

2. Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г. Необходимость инновационного развития сельского хозяйства на основе применения робототехники // Вестник ВНИИМЖ. 2016. № 1 (21). С. 85–90.

3. Гололобова С. Н., Бакин И. А. Ключевые моменты создания цифровой платформы для АПК // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2022. Книга 2. С. 29–30.

4. 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.

5. 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.
6. Кузовкова Т. А., Салютин Т. Ю., Кухаренко Е. Г. Методические основы и результаты интегральной оценки цифрового развития экономики и общества [Электронный ресурс] // *Электронный научный журнал «Век качества»*. 2019. № 3. С. 106–122. URL: <http://www.agequal.ru/pdf/2019/319007.pdf> (дата обращения: 18.02.2023).
7. Огнивцев С. Б. Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 2 (362). С. 16–22. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-12019.
8. Рада А. О., Федулова Е. А., Косинский П. Д. Разработка методики оценки эффективности внедрения цифровых технологий в агропромышленном комплексе // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 3. С. 495–504. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-3-495-504.
9. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York: W. W. Norton & Company, 2016. 352 p.
10. 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.
11. Srilakshmi A., Jeyasheela R., Sekar K.R., Manikandan R. A Comparative study on Internet Of Things (IoT) and its applications in Smart Agriculture // *Pharmacognosy Journal*. 2018. Vol. 10 (2). Pp. 260–264. DOI: 10.5530/pj.2018.2.46.
12. О Стратегии социально-экономического развития Новгородской области до 2026 года: Закон Новгородской области от 04 апреля 2019 года № 394-ОЗ [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/553230534> (дата обращения: 16.04.2023).
13. Цифровые технологии на службе сельского хозяйства и сельских районов: справочный документ / Н. М. Трендов, С. Варас, М. Цзэн. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2019. 19 с.
14. Gawer A. Bridging Differing Perspectives on Technological Platforms: Toward an Integrative Framework // *Research Policy*. 2014. Vol. 43. No. 7. Pp. 1239–1249.
15. Evans P. C., Gawer A. The rise of the platform enterprise. A global survey // *The Center for Global Enterprise*. 2016. No. 1. Pp. 4–28.
16. Край К. Ф., Хаджиева М. И. Экономическая эффективность внедрения инновационных технологий в сельское хозяйство в эпоху сквозной цифровизации // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2020. № 6 (98). С. 155–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-155-164.
17. 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.
18. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий [Электронный ресурс]. URL: https://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf (дата обращения: 15.04.2023).
19. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13277> (дата обращения 15.04.2023).
20. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 1023 с.
21. Калькулятор срока возврата и рентабельности инвестиций в киберфизические системы [Электронный ресурс]. URL: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Kalkulyator_RoCPS.xlsx (дата обращения: 19.04.2023).

Об авторе:

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

References

1. Hrytsiuk P., Parfeniuk O., Shevchenko I. The logistic dynamics of population growth as a prerequisite for global sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1126: 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1126/1/012030.
2. Skvortsov E. A., Skvortsova E. G. The need for innovative development of agriculture based on the use of robotics. *Vestnik VNIIMZh*. 2016; 1 (21): 85–90. (In Russ.)

3. Gololobova S. N., Bakin I. A. Key points of creating a digital platform for the agro-industrial complex. *Agricultural science – for agriculture: collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Barnaul, 2022. Book 2. Pp. 29–30. (In Russ.)
4. 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.
5. 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.
6. Kuzovkova T. A., Salyutina T. Yu., Kukharenko E. G. Methodological foundations and results of the integrated assessment of the digital development of the economy and society Scientific magazine “Age of Quality” [Internet]. 2019 [cited 2023 Feb 18]; 3: 106–122. Available from: <http://www.agequal.ru/pdf/2019/319007.pdf>. (In Russ.)
7. Ognitsev S. B. The concept of the digital platform of the agro-industrial complex. *International Agricultural Journal*. 2018; 2 (362): 16–22. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-12019. (In Russ.)
8. Rada A. O., Fedulova E. A., Kosinskiy P. D. New Method for Efficiency Evaluation of Digital Technologies in Agricultural Sector. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019; 49 (3): 495–504. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-3-495-504. (In Russ.)
9. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. Platform revolution: How networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York: W. W. Norton & Company, 2016. 352 p.
10. 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.
11. Srilakshmi A., Jeyasheela R., Sekar K.R., Manikandan R. A Comparative study on Internet of Things (IoT) and its applications in Smart Agriculture. *Pharmacognosy Journal*. 2018; 10 (2): 260–264. DOI: 10.5530/pj.2018.2.46.
12. On the Strategy of socio-economic development of the Novgorod region until 2026: Law of the Novgorod region dated April 4, 2019 No. 394-OZ [Internet]. [cited 2023 Apr 16]. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/553230534>. (In Russ.)
13. Digital technologies in the service of agriculture and rural areas: a reference document / N. M. Trendov, S. Varas, M. Tszen. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. 19 p. (In Russ.)
14. Gawer A. Bridging Differing Perspectives on Technological Platforms: Toward an Integrative Framework. *Research Policy*. 2014; 43 (7): 1239–1249.
15. Evans P. C., Gawer A. The rise of the platform enterprise. A global survey. *The Center for Global Enterprise*. 2016; 1: 4–28.
16. Kray K. F., Khadzhieva M. I. Economic efficiency of the introduction of innovative technologies in agriculture in the era of end-to-end digitalization. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2020; 6 (98): 155–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-155-164. (In Russ.)
17. Kuzovkova T. A., Sharavova O. I., Kuzovkov A.D., Sharavova M. M. The importance of platform business and methodological foundations for measuring the constructive interaction of the effectiveness of digital platforms. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. 2022; 1: 82–91. (In Russ.)
18. Guidelines for the digital transformation of manufacturing enterprises [Internet]. [cited 2023 Apr 15]. Available from: https://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf. (In Russ.)
19. Bulletins on the state of agriculture (electronic versions) [Internet]. [cited 2023 Apr 15]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13277>. (In Russ.)
20. Regions of Russia. Socio-economic indicators: statistical collection. Moscow: Rosstat, 2023. 1023 p. (In Russ.)
21. Calculator of the return period and return on investment in cyber-physical systems [Internet]. [cited 2023 Apr 15]. Available from: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Kalkulyator_RoCPS.xlsx. (In Russ.)

Author's 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

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



Уральский государственный
аграрный университет

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

А. В. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

A. V. Ruchkin – candidate of sociological sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.
Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 10.02.2024 г. Усл. печ. л. 17,2. Авт. л. 14,0.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

Нас индексируют / Indexed



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

