



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 25, № 06
Vol. 25, No. 06**

2025

Сведения о редакционной коллегии

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

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-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 Agriculture (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, “Uralplemtsentr” (Ekaterinburg, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Агротехнологии

- А. В. Великий* 842
Прогнозирование трендов урожайности чая на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений
- Н. И. Девтерова, О. А. Благополучная, Н. И. Мамсиров* 853
Оптимизация приемов возделывания полевых культур в современных условиях (обзор)
- М. А. Должилова, А. В. Пикунова, А. А. Павленко, О. Д. Голяева* 864
Полиморфизм микросателлитных локусов в семье красной смородины с расщеплением по латеральному и терминальному типу плодоношения
- М. А. Пазин, А. В. Пьяных* 873
Защита рапса от вредителей: «химия» или «биология»

Биология и биотехнологии

- Н. В. Гапонов* 887
Биодоступность нутриентов рационов приматов на основе люпина белого
- В. В. Гарт, С. Г. Куликова, Е. В. Камалдинов, К. Н. Нарожных, А. Ф. Петров* 900
Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы
- А. А. Зырянова, А. А. Ярышкин, О. А. Быкова, О. А. Шевкунов, О. В. Костюнина* 915
Идентификация HBD-сегментов крупного рогатого скота голштинской породы
- Е. В. Лепихина, Н. А. Морозков, И. Н. Жданова, Н. В. Авдеев* 926
Эффективность скармливания кормовой фитодобавки в составе комбикормов для цыплят-бройлеров
- М. И. Яковлева, Г. Г. Терехов* 937
Состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при слабом грибном заболевании

Экономика

- Е. В. Килимник* 947
Роль государственной политики и субъектов хозяйствования по производству пищевых продуктов в экономике России
- А. Ф. Никитин, О. С. Каращук, Е. А. Майорова, А. И. Богдашев* 963
Модель формирования качества сельскохозяйственных товаров как основа повышения их социальной значимости
- М. С. Оборин, А. Н. Полухина, Д. Л. Напольских* 973
Методический подход к оценке потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства в контексте целей устойчивого развития российских регионов
- Р. М. Садыков, В. Я. Ахметов, Т. Р. Ахметов* 991
Социализация территориальных экономических систем как фактор стабильного развития регионального социума

Contents

Agrotechnologies

- A. V. Velikiy*
Forecasting tea yield trends on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers
- N. I. Devterova, O. A. Blagopoluchnaya, N. I. Mamsirov*
Optimization of cultivation methods of field crops in modern conditions (a review)
- M. A. Dolzhikova, A. V. Pikunova, A. A. Pavlenko, O. D. Golyaeva*
Polymorphism of microsatellite loci in the red currant family with cleavage by lateral and terminal fruiting type
- M. A. Pazin, A. V. Pyanykh*
Protection of rape from pests: "Chemistry" or "Biology"

Biology and biotechnologies

- N. V. Gaponov*
Bioavailability of nutrients in primate diets based on white lupine
- V. V. Gart, S. G. Kulikova, E. V. Kamaldinov, K. N. Narozhnykh, A. F. Petrov*
Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed
- A. A. Zyryanova, A. A. Yaryshkin, O. A. Bykova, O. A. Shevkunov, O. V. Kostyunina*
Identification of HBD segments in Holstein cattle
- E. V. Lepikhina, N. A. Morozkov, I. N. Zhdanova, N. V. Avdeev*
Efficiency of feeding fodder herbal supplements as part of the combined feed for broiler chickens
- M. I. Yakovleva, G. G. Terekhov*
Composition and content of phenolic compounds in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with mild fungal disease

Economy

- E. V. Kilimnik*
The role of state policy and business entities in the production of food products in the Russian economy
- A. F. Nikishin, O. S. Karashchuk, E. A. Mayorova, A. I. Boldyasov*
Model of formation of quality of agricultural products as a basis for increasing their social significance
- M. S. Oborin, A. N. Polukhina, D. L. Napolskikh*
Methodological approach to assessing the potential for agricultural production clustering in the context of sustainable development goals in Russian regions
- R. M. Sadykov, V. Ya. Akhmetov, T. R. Akhmetov*
Socialization of territorial economic systems as a factor of stable development of regional society

Прогнозирование трендов урожайности чая на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений

А. В. Великий

Федеральный исследовательский центр

«Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия

E-mail: kriptoזורxon@mail.ru

Аннотация. Целью исследования было прогнозирование трендов урожайности зеленого чайного листа на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений. **Методы и методология.** Для обработки полученных полевых данных за многолетний период проведения опыта и построения моделей урожайности чайного листа использовали методы описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0,95$). **Результаты и область применения.** С помощью уравнений было установлено, что температурный коэффициент во многих случаях является сдерживающим фактором при получении урожая, лишь для высокоурожайных вариантов бор, кальций и цинк в уравнениях годовых данных играет стимулирующую роль и прибавляется. Коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). Оба варианта уравнений показали, что самыми слабыми являются варианты «контроль» и «магний»: на них зачастую были получены самые низкие коэффициенты, что может говорить об их отрицательном влиянии на рост и развитие растений чая, особенно проявляющемся в различные стрессовые периоды. Точность уравнений урожая в обоих вариантах была на высоком уровне, в отдельные периоды погрешность составила 4,7–6,2 % для годовых данных и около 2,0 % для листосборного периода. **Научная новизна** исследования заключается в том, что выявленные закономерности формирования урожайности чайного листа при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений позволят не только улучшить процесс сбора урожая, но и оптимизировать систему минерального питания.

Ключевые слова: чай, модель урожайности, прогнозирование урожая, микроэлементы

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0001, № государственной регистрации 124022000098-6.

Для цитирования: Великий А. В. Прогнозирование трендов урожайности чая на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 842–852. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-842-852>.

Дата поступления статьи: 20.02.2025, **дата рецензирования:** 20.03.2025, **дата принятия:** 03.04.2025.

Forecasting tea yield trends on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers

A. V. Velikiy

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia

E-mail: kriptoזורxon@mail.ru

Abstract. The aim of the study was to predict the yield trends of green tea leaves on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers. Methods and methodology: descriptive statistics methods in Microsoft Excel (at $P = 0.95$) were used to process the field data obtained over a long period of experience and build tea leaf yield models. Results and scope of application: using the equations, it was found that in many cases the temperature coefficient is a deterrent factor in harvesting, only for high-yielding variants boron, calcium and zinc in the equations of annual data it plays a stimulating role and is added. The coefficient of moisture availability is added to all the equations obtained, which indicates the positive role of water regardless of the conditions of the year (favorable, unfavorable (arid)). Both versions of the equations showed that the weakest options are control and magnesium, and they often have the lowest coefficients, which may indicate their negative impact on the growth and development of tea plants, especially during various stressful periods. The accuracy of the yield equations in both variants was at a high level, in some periods the error was 4.7–6.2 % for annual data, and about 2.0 % for the leaf collection period. The scientific novelty of the study lies in the fact that the revealed patterns of tea leaf yield formation under various meteorological conditions, in conjunction with the types of micro-fertilizers, will not only improve the harvesting process, but also optimize the mineral nutrition system.

Keywords: tea, yield model, crop forecasting, microelements

Acknowledgments. The study was funded by state assignment research of FRC SSC RAS FGRW-2024-0001 project No. 124022000098-6.

For citation: Velikiy A. V. Forecasting tea yield trends on the Black Sea coast of Russia under various meteorological conditions in relation to the types of micro fertilizers. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 842–852. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-842-852>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.02.2025, **date of review:** 20.03.2025, **date of acceptance:** 03.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Методы прогнозирования урожайности являются важным аспектом сельского хозяйства и широко исследованы для таких основных культур, как рис, кукуруза и пшеница [7; 14; 20]. Результаты этих исследований помогают фермерам оптимизировать свои ресурсы и планировать посевные площади. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, внимание к древесным культурам остается ограниченным. Ученые J. Brinkhoff и A. J. Robson [8], а также M. Rahman с коллегами [19] в своих работах подчеркивают, что древесные культуры требуют особого подхода к прогнозированию урожайности, так как они обладают уникальными характеристиками (вечнозеленые листья, неравномерный характер плодоношения и продолжительные периоды роста), которые затрудняют применение традиционных методов прогнозирования, используемых для однолетних культур [5; 21; 25]. Это может быть связано с различными факто-

рами, такими как климатические условия, здоровье растений и агрономические практики, что требует долгосрочных прогнозов и более сложных анализов данных.

Климатические изменения в современном мире становятся все более ощутимыми, поэтому требуется более эффективное управление сельскохозяйственным производством для удовлетворения постоянно растущего спроса на продовольствие. Для достижения этой цели необходимо использовать различные системы сельскохозяйственного мониторинга [10]. Это комплекс мер, направленный на непрерывное отслеживание состояния сельскохозяйственных угодий, динамики роста и развития растений, а также факторов, влияющих на урожайность. Системы мониторинга часто основаны на сочетании методов, таких как полевые исследования, модели сельскохозяйственных культур или статистические модели для оценки урожайности сельскохозяйственных культур [10]. В условиях мно-

жества факторов скорость получения данных о потенциальном урожае дает возможность оперативно принимать обоснованные решения для достижения наилучших результатов. Следовательно, и прогнозы должны иметь разумную заблаговременность и точность [23].

Чайное растение является одной из немногих сельскохозяйственных культур, выращиванием которой человек занимается несколько тысячелетий и спрос на которую неуклонно растет. Так, по данным FAOStat, в 2017 году площади чайных плантаций в мире увеличились на 30 %, а валовый сбор чая – на 32 % и составил 6101,1 тыс. т [9]. И эта тенденция, по прогнозам, будет сохраняться. Отдельные исследователи отмечают существенный рост площадей чайных плантаций в Китае (около 300 % в 2019 году по сравнению с 2002 годом), что стало возможным за счет высокой пластичности чайного растения, благодаря которой оно быстро приспосабливалось к новым условиям произрастания.

Однако, несмотря на успешную адаптацию растений чая к различным климатическим зонам и условиям, процесс производства чайного листа сталкивается с проблемами в связи с усугубляющимся изменением климата даже на его исконных территориях [11; 15; 18]. В районах, специализирующихся на производстве чая, за последние годы наблюдается большая нестабильность важных климатических факторов, таких как температура воздуха и сумма выпадающих осадков. Также отмечается рост как частоты, так и продолжительности засушливых периодов, что приводит к значительным потерям в урожайности и, следовательно, отрицательно сказывается на прибыльности чайного производства [13; 22].

На Черноморском побережье Краснодарского края (агломерация г. Сочи) зачастую неравномерное выпадение осадков порой приводит к появлению продолжительных засушливых периодов от 14 до 40 дней, которые оказывают влияние на выращивание чая в данном регионе [2].

Для снижения отрицательного эффекта от неблагоприятных метеорологических явлений рекомендуется сбалансированное применение комплекса минеральных удобрений, включающий как макро-, так и микроэлементы. На Черноморском побережье России корневое применение бора, смеси элементов (Zn + B + Mg), цинка и кальция на фоне традиционных удобрений усиливало побегообразовательную способность чая, что обеспечивало существенную прибавку урожая на 27, 25, 22 и 14 %, соответственно. В неблагоприятных метеорологических условиях потеря урожая составляла в среднем 30–40 %, прирост от применения изучаемых элементов снижался до 6–16 % [1; 6].

На сегодняшний день повышение эффективности системы минерального питания и прогнози-

рование ежегодных объемов сбора чайного листа являются актуальными вопросами в чаепроизводящих регионах. Также отдельные исследователи [12; 17; 26] сообщают о дальнейшем ухудшении условий для растениеводства, что делает задачу прогнозирования урожайности еще более актуальной.

Целью исследования было прогнозирование трендов урожайности зеленого чайного листа на Черноморском побережье России при различных метеорологических условиях во взаимосвязи с видами микроудобрений.

Методология и методы исследования (Methods)

В 2003 году на участке чайной плантации был начат полевой опыт по изучению микроэлементов. Участок является частью производственной плантации ЗАО «Дагомысчай» (Краснодарский край, г. Сочи, Лазаревский район, поселок Уч-Дере, 43°69'N, 39°64'E) и в 1983 году был засажен интенсивным районированным сортом Колхида. В опыте почвы относились к категории бурых лесных кислых окультуренных почв [1]. Площадь чайных делянок – 10 м², повторность трехкратная. Общая площадь опытного участка – 0,05 га. Схема опыта (в кг д. в. / га): 1) контроль – N₂₄₀P₇₀K₉₀; 2) сульфат магния (MgSO₄) – Mg₆₀; 3) кристаллическая сера (S₁₀₀₀), оба эти варианта с 2015 года изучаются в последствии; 4) сульфат цинка (ZnSO₄) – Zn_{4,3}, с 2017 года изучается в последствии в связи с увеличением подвижного цинка в почве в 2–4 раза; 5) борная кислота (H₃BO₃) – B₆; 6) смесь Zn + B + Mg (4,3; 6; 60, соответственно); 7) кальцийсодержащий природный материал (40–50 % CaO) вносится в количестве 250 кг/га [1]. Каждый год эти вещества вносили на едином фоне N₂₄₀P₇₀K₉₀ кг д. в. / га в весенний период с заделкой в верхний слой почвы. Дозы мезо- (Mg, Ca) и микроэлементов (Zn, B) подобраны с учетом результатов, полученных в полевых опытах в условиях Западной Грузии [1].

Анализ исходных параметров (среднесуточная температура и количество осадков) метеорологических условий проводился на основе данных Сочинской гидрометеостанции. В дальнейшем они были сгруппированы по категориям, отвечающим за различные вегетационные периоды в жизни растений чая. Для обработки полученных полевых данных за многолетний период проведения опыта и построения моделей урожайности чайного листа использовали методы описательной статистики в программе Microsoft Excel (при P = 0,95).

Результаты (Results)

В условиях ограниченности площадей сельскохозяйственных земель и изменяющегося климата особо остро стоит вопрос о прогнозировании урожаев различных культур и разработке технологий, способствующих их росту. Одной из таких технологий является разработка комплексных сбалансированных минеральных удобрений, включающих

традиционные азотные, фосфорные, калийные с добавлением к ним мезо- и микроэлементов, усиливающих рост растений, их физиологические и биохимические функции, что приводит к росту урожая и повышению качества сырья.

В ходе многолетних исследований (более 10 лет) влияния внесения биогенных элементов на оптимальном фоне макроудобрений был получен большой набор данных (рис. 1). Установлена сильная вариабельность урожая чайного листа как за весь изученный период, так и в отдельные его периоды, что в первую очередь связано с нестабильными метеорологическими условиями черноморской зоны, которые особенно остро начали проявляться с 2016 года, что выразилось в увеличении лет с неблагоприятными погодными явлениями.

Этот большой набор данных позволил построить модель урожая, а также оценить совместное влияние на него основных метеорологических факторов и внесения удобрений.

На первом этапе статистических исследований было построено несколько простых (линейных) моделей для оценки их точности и поиска наиболее значимых параметров при их создании.

Для построения первой модели использовали общий урожай за год и показатели среднегодовой температуры и годовой суммы осадков, полученные уравнения зависимостей представлены в таблице 1, где z – урожайность, x – среднегодовая температура, y – годовая сумма осадков.

При изучении полученных уравнений можно отметить, что температурный коэффициент и коэффициент влагообеспеченности по-разному влияют на формирование урожайности. Так, коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). В то же время температурный коэффициент на высокоурожайных вариантах «бор», «кальций» и «цинк» прибавляется, т. е. имеет положительное значение, а на низкоурожайных вариантах «контроль», «магний» и «сера» он вычитается, т. е. имеет отрицательное значение при формировании урожайности чайной флешки (таблица 1). На высокоурожайном варианте с совместным внесением цинка, бора и магния температурный коэффициент вычитается, что, скорее всего, связано с отрицательным влиянием магния (таблица 1).

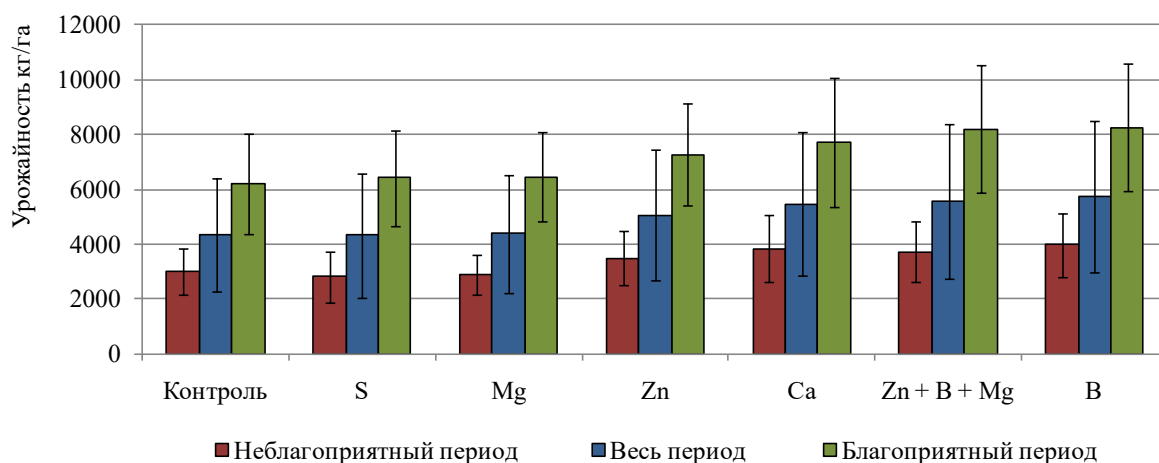


Рис. 1. Урожайность зеленого чайного листа за 2011–2024 год, кг/га

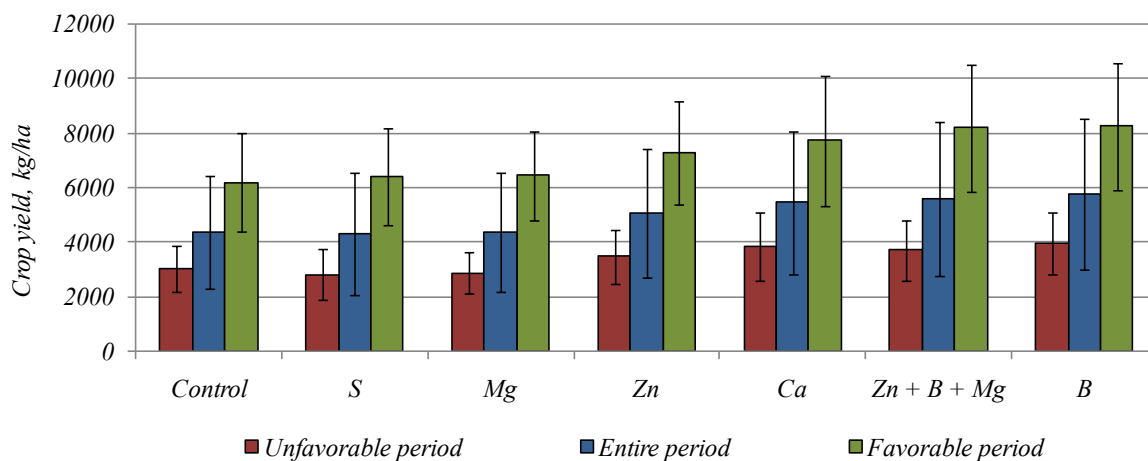


Fig. 1. Yield of green tea leaf for 2011–2024, kg/ha

Таблица 1

Линейные уравнения урожайности в зависимости от среднегодовой температуры и среднегодовой суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого года в период проведения исследований)

Вариант	Урожайность	Расчетный коэффициент	
		Температура воздуха	Суммы осадков
Контроль	$11,5173 - 2,0506x + 0,0413y$	-31,34408	63,35489
Zn	$-44,0211 + 0,7915x + 0,0538y$	12,09833	82,5301
Mg	$-2,1491 - 1,7587x + 0,0474y$	-26,88229	72,71239
B	$-50,7252 + 0,4422x + 0,0662y$	6,759168	101,5519
S	$-32,4759 - 0,524x + 0,0545y$	-8,009508	83,60391
Ca	$-66,3475 + 2,3854x + 0,055y$	36,4616	84,37092
Zn + B + Mg	$-26,1983 - 0,7792x + 0,0612y$	-11,91032	93,88182

Table 1

Linear yield equations depending on the average annual temperature and average annual precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each year during the research period)

Variant	Crop yield	Estimated coefficient	
		Air temperature	Precipitation amounts
Control	$11.5173 - 2.0506x + 0.0413y$	-31.34408	63.35489
Zn	$-44.0211 + 0.7915x + 0.0538y$	12.09833	82.5301
Mg	$-2.1491 - 1.7587x + 0.0474y$	-26.88229	72.71239
B	$-50.7252 + 0.4422x + 0.0662y$	6.759168	101.5519
S	$-32.4759 - 0.524x + 0.0545y$	-8.009508	83.60391
Ca	$-66.3475 + 2.3854x + 0.055y$	36.4616	84.37092
Zn + B + Mg	$-26.1983 - 0.7792x + 0.0612y$	-11.91032	93.88182

Отдельно хочется отметить, что на варианте с кальцием получен высокий положительный температурный коэффициент (таблица 1), что обусловлено тем, что кальций выполняет функцию универсального вторичного мессенджера (является посредником в передаче сигнала внутри клетки) в усилении синтеза стрессорных белков и других защитных соединений, обеспечивающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды, а также последующий выход из этого состояния [3; 4; 16; 24]. Роль кальция наиболее четко прослеживалась в период второй волны роста – в начале формирования неблагоприятных для растения погодных условий, когда отмечался более существенный прирост урожайности по сравнению с контролем.

Коэффициент влагообеспеченности играет положительную роль в формировании урожайности чайной флешки, однако чайные растения из-за микроэлементов в системе питания по-разному усваивают поступающую воду (таблица 1). Так, наименьший коэффициент влагообеспеченности получен на низкоурожайных вариантах «контроль с применением только макроудобрений» и «магний». Для варианта с применением магния в опыте уже было установлено, что растения чая плохо переносят засушливые периоды, это визуально проявлялось в их необратимом завядании, а также в морфологических изменениях мезоструктуры листьев растений [1].

Самый высокий коэффициент влагообеспеченности получен на высокоурожайном варианте с бором (таблица 1). На высокоурожайном варианте с совместным внесением цинка, бора и магния получен высокий коэффициент влагообеспеченности, что, скорее всего, связано с наличием бора в системе минерального питания.

После проведенного анализа и получения расчетных уравнений можно подставить среднегодовую температуру воздуха и среднюю сумму осадков за период 2011–2024 годов и сравнивать, насколько близкими получаются фактические и расчетные значения урожайности. Как видно из рис. 2, разница между расчетной урожайностью и фактической всего 0,1 %, что может говорить о правильности полученных уравнений. Однако в нестабильных метеорологических условиях она порой составляла 4,7–6,2 %.

Чайное растение в отличие от многих других сельскохозяйственных культур выделяется длительным периодом сбора урожая молодой чайной флешки (листооборный период). В отдельных чаепроизводящих странах листооборный период продолжается почти круглый год. На Черноморском побережье России этот период имеет продолжительность около 5 месяцев (май – сентябрь). С учетом этой особенности в получении урожая чая можно получить уравнения зависимости урожая не от среднегодовых температур и сумм осадков, а от среднемесячных.

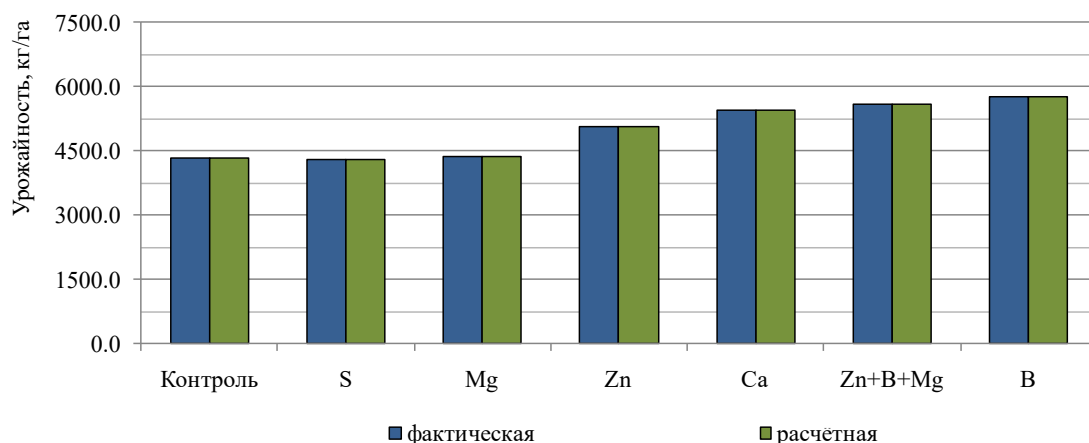


Рис. 2. Фактическая и расчетная урожайность зеленого чайного листа в зависимости от среднегодовой температуры и среднегодовой суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого года в период проведения исследований)

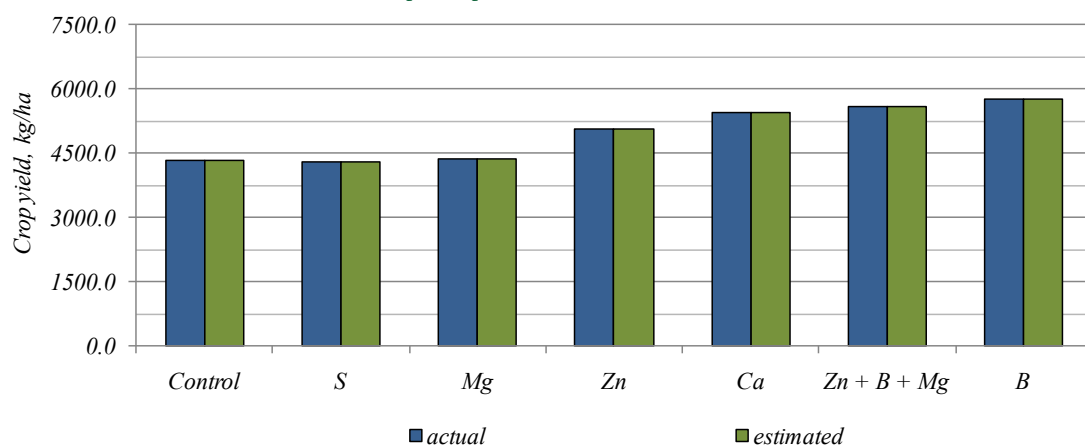


Fig. 2. Actual and estimated yield of green tea leaf depending on the average annual temperature and average annual precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each year during the research period)

Для построения линейной зависимости по среднемесячным показателям были использованы данные 5 месяцев, полученные за 12 лет проведения опыта, общее количество пар данных составило 60 шт. Анализ полученных уравнений (таблица 2) показал, что получены похожие тенденции как в уравнениях, построенных по годовым данным. В месячных уравнениях температурный коэффициент также является сдерживающим фактором, выполняя отрицательную роль, а коэффициент влагообеспеченности – стимулирующим фактором, выполняя положительную роль получения высоких урожаев.

Отрицательная роль прогнозировалась для среднемесячной температуры воздуха, так как ее повышение на определенном этапе уже приводит к замедлению роста и снижению урожайности, что и отмечено на всех вариантах опыта. Самый низкий температурный коэффициент отмечен на вариантах с применением только традиционных макроудобрений и на варианте с дополнительным внесением серы (таблицы 2, 3). Самый высокий температурный коэффициент отмечен на вариантах с применением борных удобрений и на варианте с допол-

нительным внесением магния (таблицы 2, 3). Стоит также отметить, что температурный коэффициент пропорционально увеличивается согласно росту среднемесячной температуры, его максимум фиксируется в августе, в период самого жаркого для причерноморского региона месяца (таблица 3).

Коэффициент влагообеспеченности при использовании среднемесячных данных оказывает положительное влияние на урожайность, он варьирует, согласно расчетам, от 0,28 до 3,01 единицы (таблица 3). В течение листосборного периода изменяется волнообразно, что объясняется характером осадков во влажных субтропиках, которые характеризуются неравномерностью выпадения, что зачастую приводит как к залповым ливням, так и к продолжительным засушливым периодам. При этом хочется отметить, что на высокоурожайных вариантах «бор», «кальций» и «цинк» он выше 1 усл. ед., а на варианте совместного применения цинка, бора и магния коэффициент влагообеспеченности от 2 до 3 усл. ед, что говорит о максимально возможном использовании поступающей влаги растениями чая на данных вариантах (таблица 3).

Таблица 2
Линейные уравнения урожайности
в зависимости от среднемесячной температуры
и суммы осадков (с учетом вклада
метеословий каждого листосборного месяца)

Вариант	Урожайность
Контроль	$24,4524 - 0,7315x + 0,0038y$
Zn	$28,1265 - 0,8833x + 0,0138y$
Mg	$29,4471 - 0,9821x + 0,0087y$
B	$33,7584 - 1,0723x + 0,0136y$
S	$24,2506 - 0,786x + 0,0163y$
Ca	$28,7405 - 0,8711x + 0,014y$
Zn + B + Mg	$28,7584 - 0,8927x + 0,0202y$

Table 2
Linear yield equations depending on the average
monthly temperature and precipitation
(taking into account the contribution of weather
conditions of each leaf-collecting month)

Variant	Crop yield
Control	$24.4524 - 0.7315x + 0.0038y$
Zn	$28.1265 - 0.8833x + 0.0138y$
Mg	$29.4471 - 0.9821x + 0.0087y$
B	$33.7584 - 1.0723x + 0.0136y$
S	$24.2506 - 0.786x + 0.0163y$
Ca	$28.7405 - 0.8711x + 0.014y$
Zn + B + Mg	$28.7584 - 0.8927x + 0.0202y$

Таблица 3
Расчетные коэффициенты в зависимости от среднемесячной температуры и суммы осадков
(с учетом вклада метеословий каждого листосборного месяца)

Варианты	Температура воздуха				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Контроль	12,70	16,03	17,51	18,26	15,44
Zn	15,34	19,36	21,15	22,05	18,64
Mg	17,05	21,52	23,51	24,51	20,73
B	18,62	23,50	25,67	26,76	22,63
S	13,65	17,22	18,82	19,62	16,59
Ca	15,12	19,09	20,86	21,74	18,39
Zn + B + Mg	15,50	19,56	21,37	22,28	18,84
Варианты	Суммы осадков				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Контроль	0,37	0,34	0,45	0,28	0,57
Zn	1,35	1,24	1,63	1,02	2,05
Mg	0,85	0,78	1,03	0,64	1,30
B	1,33	1,22	1,60	1,01	2,03
S	1,60	1,46	1,92	1,21	2,43
Ca	1,37	1,25	1,65	1,04	2,08
Zn + B + Mg	1,98	1,81	2,38	1,50	3,01

Table 3
Calculated coefficients depending on the average monthly temperature and precipitation amount
(taking into account the contribution of weather conditions of each leaf-collecting month)

Variant	Air temperature				
	May	June	July	August	September
Control	12.70	16.03	17.51	18.26	15.44
Zn	15.34	19.36	21.15	22.05	18.64
Mg	17.05	21.52	23.51	24.51	20.73
B	18.62	23.50	25.67	26.76	22.63
S	13.65	17.22	18.82	19.62	16.59
Ca	15.12	19.09	20.86	21.74	18.39
Zn + B + Mg	15.50	19.56	21.37	22.28	18.84
Variant	Precipitation amounts				
	May	June	July	August	September
Control	0.37	0.34	0.45	0.28	0.57
Zn	1.35	1.24	1.63	1.02	2.05
Mg	0.85	0.78	1.03	0.64	1.30
B	1.33	1.22	1.60	1.01	2.03
S	1.60	1.46	1.92	1.21	2.43
Ca	1.37	1.25	1.65	1.04	2.08
Zn + B + Mg	1.98	1.81	2.38	1.50	3.01

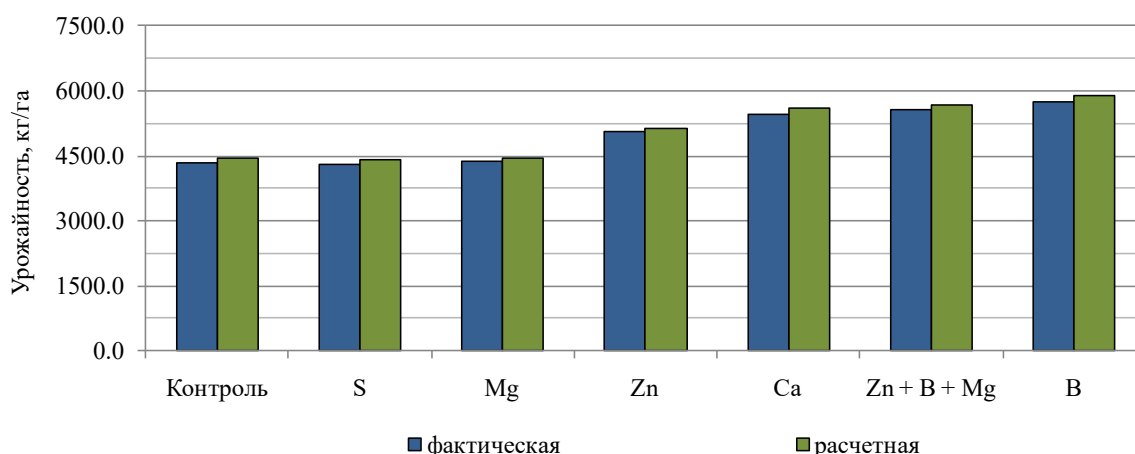


Рис. 3. Фактическая и расчетная урожайность зеленого чайного листа в зависимости в зависимости от среднемесячной температуры и суммы осадков (с учетом вклада метеоусловий каждого листосборного месяца)

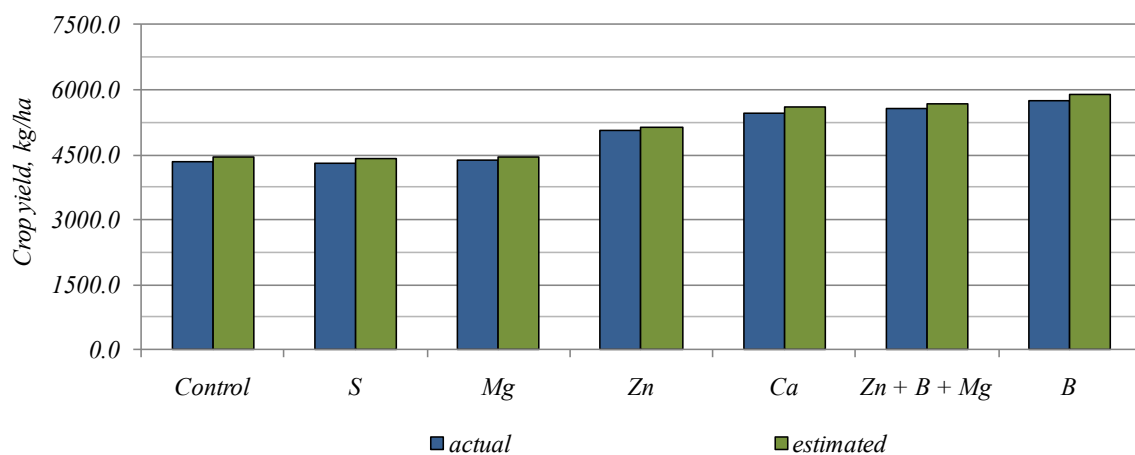


Fig. 3. The actual and estimated yield of green tea leaves, depending on the average monthly temperature and precipitation (taking into account the contribution of weather conditions of each leaf-collecting month)

После проведенного анализа и получения расчетных уравнений можно подставить среднемесячную температуру воздуха и среднюю сумму осадков за период 2011–2024 годов и сравнивать, насколько близкими получаются фактические и расчетные значения урожайности. Как видно из рис. 3, разница между расчетной урожайностью при использовании среднемесячных температур и сумм осадков к фактическому урожаю, полученному в полевых условиях, составила в среднем около 2 %. Однако использование месячных показателей показывает динамичный прогноз урожайности для каждого месяца, что позволяет более правильно организовать весь процесс сбора чайной флешки.

Применение простой линейной модели для вычисления урожаев чайной плантации очень удобно и информативно. Однако такая модель уравнений не показывает совместного влияния гидротермического коэффициента на урожай. Именно оптимальное сочетание температуры и осадков позволяет получить высокий урожай чайного листа, поэтому в дальнейшем планируются усовершенствование модельного уравнения, изучение других параме-

тров, влияющих на рост и развитие растений, а также поиск параметров, которые могут способствовать прогнозированию урожая на предстоящий листосборный период, что позволит быстрее реагировать на изменение метеорологических условий и проводить соответствующие агротехнологические приемы на чайных плантациях.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На сочинском Черноморском побережье в длительном полевом опыте на культуре чая изучено влияние почвенного корневого внесения биогенных элементов (S, Mg, Ca, B, Zn) на оптимальном фоне макроудобрений на урожай чайного листа. Большой набор полученных данных позволил построить модельные уравнения урожая для чая, а также оценить совместное влияние на него основных метеорологических факторов и внесения удобрений. С учетом длительного листосборного периода у культуры чая было получено сразу два вида уравнения для урожая: первый – на основе годовых данных (октябрь – сентябрь) о температуре и сумме осадков, второй – на основе месячных данных о температуре и сумме осадков в течение листосборного периода

(май – сентябрь). С помощью уравнений было установлено, что температурный коэффициент во многих случаях является сдерживающим фактором при получении урожая, лишь для высокоурожайных вариантов «бор», «кальций» и «цинк» в уравнениях годовых данных он играет стимулирующую роль и прибавляется. Коэффициент влагообеспеченности во всех полученных уравнениях прибавляется, что говорит о положительной роли воды вне зависимости от условий года (благоприятные, неблагоприятные (засушливые)). Оба варианта уравнений показали, что самыми слабыми являются варианты «контроль» и «магний», на них зачастую были получены самые низкие коэффициенты, что может говорить об их отрицательном влиянии на рост и развитие растений чая, особенно проявляющемся в различные стрессовые периоды. Точность урав-

нений урожая в обоих вариантах была на высоком уровне, в отдельные периоды погрешность составила 4,7–6,2 % для годовых данных и около 2,0 % для листосборного периода. Использование месячных показателей демонстрирует динамичный прогноз урожайности для каждого месяца, что позволяет более правильно организовать весь процесс сбора чайной флешки. Применение простой линейной модели для вычисления урожаев чайной плантации очень удобно и информативно. В дальнейшем планируется усовершенствование модельного уравнения, которое поможет планированию урожаев на предстоящий листосборный период, что позволит быстрее реагировать на изменение метеорологических условий, и проводить соответствующие агротехнологические приемы на чайных плантациях.

Библиографический список

1. Великий А. В. Влияние корневого применения биогенных элементов (Mg, Ca, B, Zn) на плодородие бурых лесных кислых почв, урожай и качество зеленого чайного листа в условиях влажных субтропиков России: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Краснодар, 2022. 219 с.
2. Малюкова Л. С., Козлова Н. В., Рогожина Е. В. [и др.] Возделывание субтропических культур на Черноморском побережье России: эколого-агрохимические аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49, № 3. С. 24–31.
3. Малюкова Л. С., Притула З. В., Козлова Н. В. [и др.] О формировании устойчивости у растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при недостаточном водообеспечении на фоне корневого внесения кальция в виде природного удобрения // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 673–679. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.673eng.
4. Малюкова Л. С., Притула З. В., Козлова Н. В. [и др.] Влияние кальцийсодержащего природного материала на состояние бурых лесных кислых почв и растений чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в субтропиках России // Агрохимия. 2020. № 12. С. 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054.
5. Ali A., Imran M. Remotely sensed real-time quantification of biophysical and biochemical traits of Citrus (*Citrus sinensis* L.) fruit orchards: a review // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 282. Article number 110024. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110024.
6. Velikii A. V. The effectiveness of the combined use of zinc, boron, and magnesium on tea plantations in the humid subtropics of Russia // BIO Web Conference. 2024. Vol. 139. Article number 04001. DOI: 10.1051/bioconf/202413904001.
7. Basso B., Liu L. Chapter four-seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies // In: Donald L. Sparks (ed.). Advances in Agronomy. 2019. Vol. 154. Pp. 201–255. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.11.002.
8. Brinkhoff J., Robson A. J. Block-level macadamia yield forecasting using spatiotemporal datasets // Agricultural and Forest Meteorology. 2021. Vol. 303. Article number 108369. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108369.
9. FAO. Current Global Market Situation and Emerging Issues. Rome, Italy: FAO, 2022. 8 p.
10. Fritz S., See L., Bayas J. C. L., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps // Agricultural Systems. 2019. Vol. 168. Pp. 258–272.
11. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity // Global Food Security. 2015. Vol. 4. Pp. 46–50. DOI: 10.1016/J.GFS.2014.11.003.
12. Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., et al. Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin // Időjárás. 2020. Vol. 124, No. 2. Pp. 157–190. DOI: 10.28974/idojaras.2020.2.2.
13. Korecha D., Barnston A. G. Predictability of June–September rainfall in Ethiopia // Monthly Weather Review. 2007. Vol. 135. Pp. 628–650. DOI: 10.1175/MWR3304.1.
14. Liu L., Basso B. Linking field survey with crop modeling to forecast maize yield in smallholder farmers' fields in Tanzania // Food Security. 2020. Vol. 12 (3). Pp. 537–548. DOI: 10.1007/s12571-020-01020-3.
15. Liu W., Ye T., Jägermeyr J., et al. Future climate change significantly alters interannual wheat yield variability over half of harvested areas // Environmental Research Letters. 2021. Vol. 16, No. 9. Article number 094045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbb.

16. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Effects of calcium-containing natural fertilizer on *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze // *Bangladesh Journal of Botany*. 2021. Vol. 50 (1). Pp. 179–187. DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686.
17. Nistor M. M., Cheval S., Gualtieri A. F., et al. Crop evapotranspiration assessment under climate change in the Pannonian Basin during 1991–2050 // *Meteorological Applications*. 2017. Vol. 24, No. 1. Pp. 84–91. DOI: 10.1002/met.1607.
18. Nória Júnior R. S., Martre P., Finger R., et al. Extreme lows of wheat production in Brazil // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16, No. 10. Article number 104025. DOI: 10.1088/1748-9326/ac26f3.
19. Rahman M., Robson A., Bristow M. Exploring the potential of high resolution World View-3 imagery for estimating yield of mango // *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. Article number 1866. DOI: 10.3390/rs10121866.
20. Schauburger B., Jägermeyr J., Gornott C. A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources // *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 120. Article number 126153. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126153.
21. Sola-Guirado R. R., Castillo-Ruiz F. J., Jimenez-Jimenez F., et al. Olive actual “on year” yield forecast tool based on the tree canopy geometry using UAS imagery // *Sensors*. 2017. Vol. 17. Article number 1743. DOI: 10.3390/s17081743.
22. Tesfaye K., Gbegbelegbe S., Cairns J. E., et al. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: Potential impacts on production and food security // *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2015. Vol. 7. Pp. 247–271. DOI: 10.1108/IJCCSM-01-2014-0005.
23. Troccoli A., Harrison M., Anderson D. L. T., et al. Seasonal climate: forecasting and managing risk // *NATO Science Series: IV*. 2008. Vol. 82. DOI: 10.1007/978-1-4020-6992-5.
24. Upadhyaya H. Dutta B. K., Sahoo L., et al. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) // *American Journal of Plant Sciences*. 2012. Vol. 3. Pp. 443–460. DOI: 10.4236/ajps.2012/34054.
25. Zhang Z., Jin Y., Chen B., et al. California almond yield prediction at the orchard level with a machine learning approach // *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00809.
26. Zhu P., Abramoff R., Makowski D., et al. Uncovering the past and future climate drivers of wheat yield shocks in Europe with machine learning // *Earth's Future*. 2021. DOI: 10.1029/2020ef001815.

Об авторе:

Андрей Васильевич Великий, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения, Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия; ORCID 0000-0001-7612-3021, AuthorID 680026.

E-mail: kripto XOR xon@mail.ru

References

1. Velikiy A. V. *The influence of root application of biogenic elements (Mg, Ca, B, Zn) on the fertility of brown forest acid soils, yield and quality of green tea leaves in the humid subtropics of Russia: dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.04*. Krasnodar, 2022. 219 p. (In Russ.)
2. Malyukova L. S., Kozlova N. V., Rogozhina E. V., et al. Cultivating subtropical crops on the black sea coast of Russia: ecological and agrochemical aspects. *Agricultural Biology*. 2014; 49 (3): 24–31. (In Russ.)
3. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. About the formation of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze resistance under insufficient water supply at the root fertilization with calcium clay. *Agricultural Biology*. 2016; 51 (5): 673–679. DOI: 10.15389/agrobiol.2016.5.673eng. (In Russ.)
4. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Influence of root application of calcium containing natural substance on the state of brown forest acid soils and tea plants (*Camellia Sinensis* (L.) Kuntze) in Russian subtropics. *Agrochemistry*. 2020; 12: 3–10. DOI: 10.31857/S0002188120120054. (In Russ.)
5. Ali A., Imran M. Remotely sensed real-time quantification of biophysical and biochemical traits of Citrus (*Citrus sinensis* L.) fruit orchards: a review. *Scientia Horticulturae*. 2021; 282: 110024. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110024.
6. Velikiy A. V. The effectiveness of the combined use of zinc, boron, and magnesium on tea plantations in the humid subtropics of Russia. *BIO Web Conference*. 2024; 139: 04001. DOI: 10.1051/bioconf/202413904001.
7. Basso B., Liu L. Chapter four-seasonal crop yield forecast: methods, applications, and accuracies. Donald L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. 2019; 154: 201–255. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.11.002.
8. Brinkhoff J., Robson A. J. Block-level macadamia yield forecasting using spatiotemporal datasets. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021; 303: 108369. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108369.
9. FAO. *Current Global Market Situation and Emerging Issues*. Rome, Italy: FAO, 2022. 8 p.

10. Fritz S., See L., Bayas J. C. L., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. *Agricultural Systems*. 2019; 168: 258–272.
11. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity. *Global Food Security*. 2015; 4: 46–50. DOI:10.1016/J.GFS.2014.11.003.
12. Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., et al. Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the pannonian basin. *Időjárás*. 2020; 124 (2): 157–190. DOI: 10.28974/idojaras.2020.2.2.
13. Korecha D., Barnston A.G. Predictability of June–September rainfall in Ethiopia. *Monthly Weather Review*. 2007; 135: 628–650. DOI: 10.1175/MWR3304.1.
14. Liu L., Basso B. Linking field survey with crop modeling to forecast maize yield in smallholder farmers' fields in Tanzania. *Food Security*. 2020; 12 (3): 537–548. DOI: 10.1007/s12571-020-01020-3.
15. Liu W., Ye T., Jägermeyr J., et al. Future climate change significantly alters interannual wheat yield variability over half of harvested areas. *Environmental Research Letters*. 2021; 16 (9): 094045. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1fbb.
16. Malyukova L. S., Pritula Z. V., Kozlova N. V., et al. Effects of calcium-containing natural fertilizer on *Camellia Sinensis* (L.) Kuntze. *Bangladesh Journal of Botany*. 2021; 50 (1): 179–187. DOI: 10.3329/bjb.v50i1.52686.
17. Nistor M. M., Cheval S., Gualtieri A. F., et al. Crop evapotranspiration assessment under climate change in the Pannonian basin during 1991–2050. *Meteorological Applications*. 2017; 24 (1): 84–91. DOI: 10.1002/met.1607.
18. Nóia Júnior R. S., Martre P., Finger R., et al. Extreme lows of wheat production in Brazil. *Environmental Research Letters*. 2021; 16 (10): 104025. DOI: 10.1088/1748-9326/ac26f3.
19. Rahman M., Robson A., Bristow, M. Exploring the Potential of High Resolution World View-3 Imagery for Estimating Yield of Mango. *Remote Sensing*. 2018; 10: 1866. DOI: 10.3390/rs10121866.
20. Schauburger B., Jägermeyr J., Gornott C, A systematic review of local to regional yield forecasting approaches and frequently used data resources. *European Journal of Agronomy*. 2020; 120: 126153. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126153.
21. Sola-Guirado R. R., Castillo-Ruiz F. J., Jimenez-Jimenez F., et al. Olive actual “on year” yield forecast tool based on the tree canopy geometry using UAS Imagery. *Sensors*. 2017; 17: 1743. DOI: 10.3390/s17081743.
22. Tesfaye K., Gbegbelegbe S., Cairns J. E., et al. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: Potential impacts on production and food security. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2015; 7: 247–271. DOI: 10.1108/IJCCSM-01-2014-0005.
23. Troccoli A., Harrison M., Anderson D. L. T., et al. Seasonal climate: forecasting and managing risk. *NATO Science Series: IV*. 2008; 82. DOI: 10.1007/978-1-4020-6992-5.
24. Upadhyaya H. Dutta B. K., Sahoo L., et al. Comparative effect of Ca, K, Mn and B on post-drought stress recovery in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *American Journal of Plant Sciences*. 2012; 3: 443–460. DOI: 10.4236/ajps.2012/34054.
25. Zhang Z., Jin Y., Chen B., et al. California almond yield prediction at the orchard level with a machine learning approach. *Frontiers in Plant Science*. 2019; 10. DOI: 10.3389/fpls.2019.00809.
26. Zhu P., Abramoff R., Makowski D., et al. Uncovering the past and future climate drivers of wheat yield shocks in Europe with machine learning. *Earth's Future*. 2021. DOI: 10.1029/2020ef001815.

Author's information:

Andrey V. Velikiy, candidate of agricultural sciences, researcher at the laboratory of agrochemistry and soil science, Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia; ORCID 0000-0001-7612-3021, AuthorID 680026. E-mail: kriptoזורxon@mail.ru

Оптимизация приемов возделывания полевых культур в современных условиях (обзор)

Н. И. Девтерова[✉], О. А. Благополучная, Н. И. Мамсиров

Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

[✉]E-mail: devterova55@mail.ru

Аннотация. В статье дан ретроспективный обзор применения минеральных и органических удобрений в Республике Адыгея (РА), показана статистика показателей почвенного плодородия и значение удобрений в повышении урожайности полевых культур. **Цель исследований** состояла в разработке и внедрении в производство приемов возделывания зерновых колосовых и пропашных культур, сочетающих способы обработки почвы различной интенсивности, виды и нормы удобрений с учетом меняющегося климата и уровня плодородия почвы. **Научная новизна.** Освещены вопросы применения удобрений и обработок почвы в краткосрочных и длительных опытах. Показаны результаты исследований по разработке эффективных приемов возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах короткой ротации. **Методы.** Изучены следующие факторы: биологические (заделка соломы зерновых культур, посев рапса на сидерат); агротехнические (преимущественное использование обработок без оборота пласта, уменьшение нормы основного полного удобрения на 25–30 %); агрохимические (использование азота для основного внесения, под озимые зерновые осенью, удобрений, в которых количество азота кг/га д. в. не превышает 30, а входящие в химический состав фосфаты действуют пролонгировано; под пропашные и бобовые весной: применение удобрений, в которых при корректировке доз внесения возрастает количество доступных форм азота и быстроусвояемых растениями форм фосфатов). **Результаты.** Применение изученных и выявленных эффективных приемов возделывания способствовало стабилизации показателей кислотности (5,0 → 5,25; 4,95 → 5,08 мг/экв на 100 г) увеличению содержания гумуса по поверхностной обработке в слое 12–16 см от 4,21 до 4,24 %, снижению содержания гумуса по вспашке с 4,24 до 4,18 % (динамика изменения показателей гумуса в одной группе обеспеченности), увеличению содержания аммиачной формы минерального азота весной (3,2 → 7,1; 3,3 → 9,7 мг/кг почвы); повышению продуктивности 1 га пашни на вариантах с заделкой соломы до 5,5 т ЗЕ (зерновых единиц) и с рапсом на сидерат до 5,8 т ЗЕ (в сравнении с контролем).

Ключевые слова: чернозем слитой, обработка почвы, плодородие, элементы питания, минеральные удобрения, дозы и нормы внесения, приемы возделывания, способы заделки, биопрепараты, севооборот, урожайность

Для цитирования: Девтерова Н. И., Благополучная О. А., Мамсиров Н. И. Оптимизация приемов возделывания полевых культур в современных условиях (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 853–863. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-853-863>.

Дата поступления статьи: 20.09.2024, **дата рецензирования:** 08.04.2025, **дата принятия:** 15.04.2025.

Optimization of cultivation methods of field crops in modern conditions (a review)

N. I. Devterova✉, O. A. Blagopoluchnaya, N. I. Mamsirov

Maykop State Technological University, Maykop, Russia

E-mail: devterova55@mail.ru

Abstract. A retrospective review of the use of mineral and organic fertilizers in the Republic of Adygea (RA) is given, the statistics of soil fertility indicators and the importance of fertilizers in increasing crop yields are shown. **The purpose** of the research was to develop and introduce into production methods for cultivating grain and row crops, combining methods of tillage of varying intensity, types and rates of fertilizer application, taking into account the changing climate and soil fertility. **Scientific novelty.** The issues of application of fertilizers and tillage in short- and long-term experiments are highlighted. The results of research on the development of effective methods of cultivating crops in short-turn crop rotations are presented. **Methods.** The following factors were studied: biological (sealing of grain straw, sowing of rapeseed for siderate); agrotechnical (preferential use of treatments without reservoir turnover; reduction of the rate of basic total fertilizer by 25–30 %); agrochemical (the use of nitrogen for basic application, for winter crops in autumn, fertilizers in which the amount of nitrogen kg/ha per day does not exceed 30, and phosphates in the chemical composition act for a long period; for row crops and legumes, in spring: the use of fertilizers in which, when adjusting the application doses, increases the amount of available forms of nitrogen and phosphates are formed, which are quickly absorbed by plants). **Results.** The use of the studied and identified effective cultivation methods contributed to the stabilization of acidity indicators (5.0 → 5.25; 4.95 → 5.08 mg/eq per 100 g) an increase in the humus content during surface treatment in a layer of 12–16 cm from 4.21 to 4.24 %, a decrease in the humus content during plowing from 4.24 to 4.18 %, (dynamics of changes in humus indicators in one security group), an increase in the content of humic ammonia form of mineral nitrogen in spring (3.2 → 7.1; 3.3 → 9.7 mg/kg of soil); increased yields from 1 ha of arable land in variants with straw embedding up to 5.5 c (grain units) and with rapeseed seeds per siderate up to 5.8 c (compared with the control).

Keywords: compact chernozem, tillage, fused chernozem, tillage, fertility, nutrition elements, mineral fertilizers, doses and application rates, cultivation methods, sealing methods, biological products, crop rotation, yield

For citation: Devterova N. I., Blagopoluchnaya O. A., Mamsirov N. I. Optimization of cultivation methods of field crops in modern conditions (a review). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 853–863. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-853-863>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.09.2024, **date of review:** 08.04.2025, **date of acceptance:** 15.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Обеспечение экономической безопасности региона связано с разработкой и внедрением современных аграрных технологий производства растениеводческой продукции, формирующих и сохраняющих почвенное плодородие и способствующих получению высокого уровня урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Повышение урожайности зерновых основано на применении современных проверенных технологий. Комплекс агротехнических приемов позволяет интенсивным технологиям обеспечить эффективное питание растению во всех фазах роста и развития [1].

Получение качественных урожаев сельскохозяйственных культур, состояние плодородия почв и растений обеспечивается научно обоснованными нормами внесения удобрений и приемами возделывания в рамках технологий, адаптированных к изменяющимся погодным условиям.

Изменяющиеся условия внешней среды – снижение оптимальных показателей почвенных характеристик, изменение ведения растениеводства в современных условиях – предполагают оптимизацию минерального питания исследуемых культур, разработку новых технологий обработки, а также значительных изменений классической системы удобрений, т. е. трансформацию традиционных способов обработок почв и применения удобрений.

К основным факторам, негативно влияющим на получение высокого уровня урожайности в регионе являются изменяющиеся условия внешней среды: в южно-предгорной зоне Республики Адыгея выпадает в среднем 700–950 мм осадков, коэффициент увлажнения 0,4–0,6. Осадки неравномерно распределены по периодам вегетации сельскохозяйственных культур. Наибольшее их количество выпадает в осенний и весенний периоды, что вызывает избыточное увлажнение к началу полевых работ.

К участвующим в регионе неблагоприятным погодным условиям следует отнести засухи, засухи, а также наблюдающиеся тенденции:

- смещения дат наступления и окончания основных агроклиматических периодов;
- повышения показателей температур выше ежегодной среднегодовой, на 0,8–1,0 °C [2–4];
- снижение почвенного плодородия, выражающееся в уменьшении содержания элементов питания в почве, в увеличении количества кислых почв;
- отсутствие научно обоснованного чередования культур и посева бобовых трав в севооборотах Республики Адыгея;
- отсутствие планирования во времени применения удобрений и химических средств защиты растений в связи несоблюдением севооборотов;
- внесение агрохимических средств без учета показателей гумуса, основных элементов питания, кислотности почвы;
- слабая материально-техническая база.

Тем не менее с учетом лимитирующих факторов на черноземных почвах в агроклиматических условиях Республики Адыгея возможно получение высокого уровня урожайности возделываемых культур.

Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения в Республике Адыгея составляет 302,2 тыс. га, пашня занимает 237,3 тыс. га, 52 % из которой – черноземы выщелоченные [5].

В ходе агрохимических обследований выявлены следующие основные показатели почвенного плодородия:

- на протяжении последних 10 лет содержание гумуса сохраняется на одном уровне – 3,6 %, площадь почв с низким и очень низким содержанием гумуса – 212,9 тыс. га (85,3 %);
- 43,8 тыс. га (17,5 %) площади пашни с сильнокислой и среднекислой реакцией;
- около 9,8 тыс. га (4 %) имеют слабощелочную реакцию почвенного раствора;
- основная часть площади пашни – 195,8 тыс. га (78,5 %) со слабокислыми и нейтральными показателями кислотности.

Основные причины подкисления почвенного раствора:

- применение сильнокислых видов удобрений;
- отсутствие научно обоснованного чередования культур во времени и пространстве;
- обеспеченность почв подвижным фосфором: 28,6 тыс. га (11,5 %) с очень низким и низким; большая часть площади пашни – 126,4 тыс. га (50,7 %) – со средним; 58,4 тыс. га (23,4 %) – с повышенным содержанием. Высокое и очень высокое содержание этого элемента на площади – 36,0 тыс. га (14,4 %);
- обеспеченность почв обменным калием: черноземы богаты калием: 154,4 тыс. га (61,9 %) имеют повышенное и высокое, 69,9 тыс. га (28,0 %) –

среднее, 17,7 тыс. га (7,1 %) – низкое и очень низкое содержание обменного калия.

За 50-летний период уменьшение ресурсов гумуса в пахотных почвах РА достигло более 20 % (с 4,6 до 3,6 %). За период 1979–2020 гг. кислотность почвенного раствора повысилась более чем на 13,0 % (с 6,1 до 5,3 мг/экв на 100 г почвы). Начиная с 1989–1993 годов наблюдалось снижение содержания в почве фосфора на 17,7 % (с 31,0 до 25,5 мг/кг почвы), в 2004–2007 годах – обменного калия до 285,0 мг/кг почвы. К 2020 году содержание обменного калия составило 345,1 мг/кг почвы, т. е. повысилось на 21,0 % [6].

В 80–90-х годах прошлого столетия в Республике Адыгея под сельскохозяйственные культуры вносились научно обоснованные, рекомендованные для зоны нормы минеральных и органических удобрений, что способствовало повышению плодородия почв в указанный период. Прослеживались устойчивые корреляционные связи между содержанием основных элементов питания в почве и количеством внесенных минеральных и органических удобрений.

Внесение в почву минеральных и органических удобрений в современных условиях – это наиболее эффективное средство сохранения почвенного плодородия и повышения урожайности полевых культур. В Республике Адыгея в связи упадком отрасли животноводства применение органических удобрений ограничено, что является одной из главных причин снижения основного показателя почвенного плодородия – гумуса. В настоящее время заделка соломы и пожнивных остатков является главным источником пополнения гумуса в почве. Измельченная солома в Республике Адыгея заделывается приблизительно на 85,0 % посевной площади озимых зерновых культур. Ограниченное количество хозяйств региона проводят посев сидератов и многолетних бобовых трав в севооборотах.

Цель исследований состояла в разработке и внедрении в производство приемов возделывания зерновых колосовых и пропашных сельскохозяйственных культур, сочетающих способы обработки почвы различной интенсивности, видов и норм удобрений с учетом меняющегося климата и уровня плодородия почвы.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа на черноземе слитом выщелоченном, относящемся к малогумусным сверхмощным почвам тяжелого глинистого механического состава с содержанием физической глины до 78,0 %. Опытные делянки закладывали на полях НИИСХ ФГБОУ ВО МГТУ, географические координаты: 44,7402° с. ш. и 40,0688° в. д. (ЮФО, Республика Адыгея, Майкопский район, х. Косинов) с использованием методики полевого опыта

Б. А. Доспехова [7]. Объекты исследований: способы обработки почвы, нормы удобрений, сельскохозяйственные культуры: ячмень озимый, пшеница озимая, овес, рапс, клевер, кукуруза, подсолнечник. Повторность опытов четырехкратная, размещение делянок в опытах рендомизированное. Площадь опытной делянки – 50 м². При закладке опытов учитывали показатели температуры и влаги, содержание элементов минерального питания в почве, применяемые средства химизации. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур в опытах включала мероприятия, направленные на уменьшение плотности, увеличение водопроницаемости:

- дискование (Т-150К, БДМ-4 на глубину 12–16 см двукратно);

- вспашка (МТЗ-82.1 ПЛН-5-35 на глубину 20–22 см под зерновые и на 25–27 см под пропашные и клевер;

- культивация (МТЗ-82.1, КПС-4,0). Сев зерновых проводили зерновой сеялкой СЗТ-5,4 в комплектации с трактором МТЗ-82.1, сев пропашных – сеялкой Kinze 3000 8x70, рапса и клевера – сеялкой СЗТ-3,6-5,4-6,0 в комплектации с трактором МТЗ-82.1. В опытах применяли удобрения аммофос, сульфаммофос, аммиачную селитру, биопрепараты (гуматы), гербициды системного действия («Гран-Стар» и «Примадонна»). Расчет норм внесения основного удобрения и подкормок проводили в зависимости от лимитирующего элемента питания в почве зоны исследований, для наших почв это азот. Для осеннего внесения использовали аммофос, от 180 до 200 кг в физическом весе, с учетом содержания в почве усвояемых форм азота – от 22 до 24 кг/га д. в. N. Сульфаммофос под озимые зерновые вносили перед севом осенью. Для обеспечения пропашных культур легкоусвояемым фосфором возможно внесение этого удобрения весной, в предпосевную культивацию. Сульфаммофос вносили в нормах, не превышающих 30 кг/га д. в. N, от 130 до 150 кг в физическом весе. Азотные подкормки эффективны в фазу начала активной вегетации, ранней весной и в фазу кущения зерновых, дозы подкормок корректировали при использовании методов почвенной и листовой диагностики.

Гербициды системного действия вносили во время активной вегетации однолетних и многолетних двудольных сорных растений (апрель).

Внекорневые подкормки биопрепаратами проводили в фазу колошения и налива зерна. Испытывали все нормы внесения, рекомендованные производителем, для выявления наиболее оптимального варианта применительно к зоне исследований.

Содержание элементов питания в листьях растений определяли по методу А. С. Плешкова, Б. А. Ягодина (способ обеспечения растений минеральными элементами). Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ

28268-89), плотность сложения почвы – по методу Н. А. Качинского, структурно-агрегатный состав – по методу Н. И. Савинова.

Результаты (Results)

Исследованиями в зоне предгорного влажного климата Республики Адыгея за период с 2011 по 2019 год выявлено, что заделка соломы зерновых культур, посев сидератов – это один из перспективных путей сохранения плодородия почвы и роста урожайности возделываемых культур. Заделка соломы зерновых культур в 5-польном севообороте в исследованиях 2015–2019 годов (ячмень озимый сорта Павел, пшеница озимая сорта Майкопчанка, кукуруза на зеленый корм, гибрид Кубанский 280 МВ, клевер 1-го года, клевер 2-го года сорта Абазехский местный красный) в течение двух лет достоверно повышала урожайность последующих культур севооборота (кукурузы на зеленый корм, клевера) как по глубокой, так и по поверхностной обработкам, но более высокие показатели урожайности отмечали на второй год применения данного приема. Средняя урожайность кукурузы на зеленый корм по обоим способам обработки составила 13,3 т/га, что выше в сравнении с контролем на 3,8 т/га ($HCP_{05} = 0,65$ т/га) [8]. В данных исследованиях содержание гумуса в почвенных образцах снижалось по вспашке с 4,24 до 4,18 %, а по поверхностной обработке в слое 12–16 см повышалось от 4,21 до 4,24 %, показатели кислотности почвы в динамике стабильны по обоим способам обработки; (5,1; 5,0 мг/экв на 100 г почвы). Применение приемов заделки соломы, посев сидератов в сочетании с минеральными удобрениями способствовали увеличению содержания аммиачной формы минерального азота весной от 3,2 до 7,1; и от 3,3 до 9,7 мг/кг почвы. Показатели фосфора несколько снижались, но в рамках повышенной группы обеспеченности от 44, до 31,6 мг/кг по вспашке; от 45,9 до 33,6 мг/кг почвы по поверхностной обработке [9].

В исследованиях ФГБНУ «Адыгейский НИИ-ИСХ» 2011–2013 годов рассматривали влияние уровней минерального питания и действия и последствия различных способов обработки на урожайность клевера двух лет использования. За весь период исследований содержание элементов питания в почве составило: $N-NO_3$ 8,3; P_2O_5 36,8; K_2O 319,3 мг/кг; суммы поглощенных оснований – 49,09 ммоль/100 г; гумуса – 4,64 %, кислотности почвы pH_{kcl} – 4,97 ммоль / 100 г. Данные показатели за время исследования были стабильными. В исследованиях по изучению влияния уровней минерального питания и действия различных способов обработки на урожайность клевера двух лет использования была выявлена эффективность минеральных удобрений, внесенных под предшествующий овес с подсевом клевера. Урожайность клевера 1 г. п. составила 3,25 т/га, с достоверной прибавкой уро-

жайности + 1,48 т/га ($HCP_{05} + 1,32$ т/га). По клеверу 2 г. п. – органических и органических + минеральных удобрений. Урожайность 3,38 и 3,88 т/га с достоверными прибавками +2,8 и +7,78 т/га соответственно ($HCP_{05} + 1,32$ т/га) [10].

В исследованиях ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ» 2016–2018 годов показано, что возделывание в звене севооборота многолетних бобовых трав (клевера) способствовало увеличению содержания нитратной формы минерального азота в почве до 17,4–19,6 мг/кг, подвижного фосфора – с 44,8 до 56,0 и с 45,9 до 58,0 мг/кг почвы по вспашке по поверхностной обработке соответственно.

Урожайность клевера в среднем:

- по применению минеральных удобрений 2,88 т/га с достоверной прибавкой 2,4 т/га в сравнении с контролем ($HCP_{05} + 1,56$ т/га);

- по последствию заделки соломы по обоим способам обработки почвы 30,4 т/га, прибавка 4,0 т/га ($HCP_{05} + 1,56$ т/га);

- по последствию использования рапса на сидерат 32,1 т/га, рост урожайности +5,7 т/га по отношению к контрольному варианту ($HCP_{05} + 1,56$ т/га). Было отмечено, что продуктивность 1 га пашни по последствию заделки соломы обеспечивает получение 5,5 т ЗЕ (зерновых единиц), а по рапсу на сидерат – 5,8 т ЗЕ в сравнении с контролем [11].

Эффективность применения минеральных удобрений и их роль в повышении урожайности, качества продукции возделываемых культур и улучшении состояния почвенного плодородия показана в многочисленных научных исследованиях. Так, учеными А. У. Kishev, К. З. Berbekov, З. С. Shibzukhova, З. Г. С. Shibzukhov, Н. И. Mamsirov в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики изучено влияние различных уровней минерального питания на урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы. Выявлено, что использование оптимальных для зоны исследований технологических приемов способствовало получению максимальной урожайности 40,6 ц/га при внесении удобрений в дозе $N_{90}P_{120}K_{60}$ [12].

В исследованиях О. А. Gutorova, А. Kh. Sheudzhen, Н. D. Nugum на черноземных выщелоченных почвах Западного Предкавказья выявлена роль различных норм применения минеральных удобрений: единичной, двойной, тройной. Применялась агротехника возделывания культур, соответствующая Центральной зоне Краснодарского края. Наибольшая урожайность в 11-польном зернотравяно-пропашном севообороте достигалась при внесении двойной нормы удобрения, прибавки урожая зерна озимой пшеницы от 1,4 до 2,0 т/га. Применение предложенной системы удобрений создало благоприятные условия и для накопления гумуса в почве [13].

В прошлом в Республике Адыгея основным способом обработки почвы была вспашка, являющаяся одной из самых энергоемких технологических операций. В стационарном опыте ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ» 1995–2012 годов изучали действие вспашки и поверхностной обработки как более энергосберегающего способа на урожайность озимой пшеницы по разным предшественникам. В 10-польном зернотравяно-пропашном севообороте озимая пшеница, ячмень или овес яровой (50 % севооборота) высевались по пропашным предшественникам (30 % севооборота) и бобовым травам (20 %). Результаты урожайности озимой пшеницы по разным предшественникам показали, что замена вспашки под озимую пшеницу поверхностной обработкой не ведет к снижению урожайности. Поверхностная обработка почвы проводилась также по поздно убираемым предшественникам перед последующим севом зерновых. В данных исследованиях показано, что с повышением среднегодовой температуры воздуха на 0,8 °С повышалось и среднегодовое количество осадков с 700 до 950 мм. Однако превышение количества осадков приходилось на период, когда фазы интенсивного потребления влаги уже завершены. В этих исследованиях средняя урожайность озимой пшеницы по кукурузе на зерно по вспашке составила 4,1 т/га, по поверхностной обработке – 4,2 т/га; по предшественнику подсолнечник – 3,8; 4,0 т/га по двум видам обработки соответственно. Однако получение приблизительно одинаковых результатов урожайности по обоим способам обработки стало возможным при планировании обработок почвы и системы удобрений не только в пространстве, но и во времени, т. е. важным условием проведения эксперимента было научно обоснованное чередование культур севооборота и внесение определенных видов и норм удобрений в соответствии с текущим состоянием почвенного плодородия. За время проведения исследований в 10-польном зернотравяно-пропашном севообороте не отмечали снижения содержания гумуса в почве во всех изучаемых вариантах (в среднем 4,19–4,12 %). Внесение органических удобрений также способствовало увеличению содержания гумуса в среднем по вспашке на 0,39 % (4,35 %), по поверхностной обработке – на 0,35 % (4,38 %) к контролю. Выявлено также, что снижение затрат на производство продукции в севооборотах длительной ротации возможно при замене вспашки под озимую пшеницу поверхностной обработкой тяжелой дисковой бороной [14].

В современных условиях ведения сельскохозяйственного производства вспашка проводится один раз в три года. В основном используется поверхностная обработка на глубину 12–16 см. Уменьшение глубины почвенной обработки приводит к

снижению водопроницаемости и увеличению плотности почв, а ежегодная вспашка приводит к ухудшению физических, водных и агрохимических показателей почвенного плодородия.

Исследования в зоне Центрального Предкавказья (Ставропольский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – СНИИСХ) показали, что более значимое накопление продуктивной влаги в посевах пшеницы озимой отмечено при использовании отвальной (20–22 см) и комбинированной (25–27 см) систем обработок в сравнении с мелкой (13–19 см). В этих исследованиях отмечена меньшая величина плотности почвы по отвальной и комбинированной обработкам в сравнении с поверхностной осенью и весной на 0,11–0,12 г/см³ соответственно [15].

В исследованиях ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ» на слитых черноземных почвах в среднем за 3 года (2015–2017) запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см были выше на фоне вспашки в сравнении с дисковой обработкой (под озимыми зерновыми на 8,3–8,4 мм, под кукурузой на зеленый корм – приблизительно на 37,0 мм). Плотность верхнего слоя почвы по обоим приемам обработки была ниже в сравнении с более глубокими слоями на 12,0–18,6 % и не превышала оптимальных для слитых черноземов величин. В среднем разноточные способы обработки оказали примерно одинаковое влияние на плотность сложения почвы в слое 0–30 см (1,2–1,21 г/см³). Было отмечено положительное влияние дисковой обработки на содержание наиболее ценных агрегатов почвы (0,25–3,0 мм), содержание которых в слое 0–30 см было на 0,9 % выше, чем по вспашке. Проведенные исследования показали, что плотность черноземных почв увеличивается в более глубоких слоях [16].

В работах Н. И. Мамсирова, А. А. Макарова также обнаружено некоторое увеличение плотности почвы с глубиной отбора образцов в среднем на 0,18 и 0,21 г/см³ соответственно в слоях 15–25 и 30–40 см. Отмечено, что величины плотности почвы не были критическими [17].

В исследованиях М. Х. Ширинян, В. К. Бугаевского выявлено, что при малой глубине заделки роль основного удобрения снижается. Поэтому оптимальные дозы основного удобрения фосфора и калия при использовании поверхностной обработки почвы уменьшали на 30–50 % в зависимости от глубины обработки. А при неустойчивом режиме увлажнения увеличивающаяся концентрация минеральных удобрений действует на растения угнетающе. Таким образом, эффективность удобрений зависит от условий увлажнения, при которых они применяются [18].

На выщелоченных слитых черноземах Республики Адыгея в 2009–2011 годах занимались разработкой усовершенствованной технологии комплексного использования средств химизации при

возделывании ячменя озимого по поверхностной обработке в звене севооборота и в монокультуре с применением полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}$ и уменьшенной его нормы $N_{20}P_{20}$. Результаты исследований показали, что варианты с уменьшенной нормой внесения удобрений были более эффективны, особенно в звене севооборота, где ячмень возделывался по предыдущей вспашке. Затраты на внесение уменьшенной нормы удобрений в 1,34 раза ниже, чем при внесении полного удобрения. Отсюда вывод: применение полного удобрения по поверхностной обработке неэффективно и экономически невыгодно, поэтому дозы полного удобрения ($N_{60}P_{60}$) уменьшали на 25–30 %. Роль основного удобрения частично перекладывали на внесение при посеве ($N_{20}P_{20}$) и подкормку весной (N_{40}) [19].

Целесообразность применения конкретного вида удобрений, норм их внесения зависит от показателей кислотности почвы (на почвах с показателями кислотности от среднекислых pH_{kcl} 4,6–5,0 до очень сильно кислых $pH_{kcl} < 4,0$ мг/экв на 100 г. почвы, использование менее физиологически кислых видов удобрений), от наличия в ней элементов питания в количествах, достаточных для формирования высокого уровня урожайности и качественных характеристик получаемой продукции.

В Республике Адыгея в качестве основного минерального удобрения чаще используют аммофос, сульфаммофос и аммиачную селитру в подкормку. В центральной и южно-предгорной зонах региона для поддержания оптимального уровня почвенного плодородия в соответствии с классическими рекомендациями необходимо на 1 га площади вносить минеральные удобрения в соотношении $NPK\ 1 : 0,7 : 0,4$. Лимитирующим элементом питания для наших почв является азот, недостаток его ограничивает получение высокой урожайности и является основанием для использования конкретного вида удобрений и расчета их норм в зависимости от содержания этого элемента питания в почве.

В исследованиях С. А. Шафран и А. А. Kвашин, N. N. Neshchadim, E. K. Yablonskay, K. N. Gorpinchenko показано, что вклад азотных удобрений в формирование урожайности полевых культур в наибольшей степени зависит от обеспеченности почв доступными формами азота, подвижными формами фосфора и оптимальным уровнем кислотности. Внесение высоких доз азота осенью неэкономично и малоэффективно: азотные удобрения легко растворимы, высокая норма внесения способствует увеличению концентрации почвенного раствора, что губительно для неокрепшей корневой системы зерновых культур. Ввиду неустойчивого режима влагообеспеченности азот удобрений может легко вымываться в глубокие слои почвы. Осенью следует ограничиться «стартовой», т. е. невысокой дозой азота [20; 21].

Сравнительная характеристика наиболее используемых в Республике Адыгея удобрений: аммофоса и сульфоаммофоса. С агрохимической точки зрения аммофос можно считать лучшим удобрением для осеннего внесения, исходя из соотношения в нем 10–12 % аммиака и 50–52 % фосфора. Расчетные дозы аммофоса в зоне исследований с учетом содержания в почве усвояемых форм азота составляют 22–24 кг/га д. в. N (180–200 кг в физическом весе), а входящие в химический состав аммофоса моноаммоний фосфат $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и диаммоний фосфат $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ действуют пролонгированно.

Содержание различных форм фосфатных ионов в почвенном растворе зависит от уровня кислотности. В почвенном растворе в диапазоне pH 3–6 преобладает одновалентный ион H_2PO_4^- . Значение двухвалентного иона HPO_4^{2-} для питания растений возрастает при более высоких уровнях pH, поскольку в растворе с pH выше 7,0 он становится доминирующим.

В составе сульфоаммофоса 3 остатка ортофосфорной кислоты: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , из которых лучше растениями усваиваются анионы H_2PO_4^- . Содержание фосфора в сульфоаммофосе – 20 %, и для оптимизации доз по фосфору необходимо увеличение дозы внесения, что при использовании серосодержащего, сильнокислого удобрения приводит к увеличению кислотности почвенного раствора, поэтому на почвах с показателями кислотности от среднекислых ($\text{pH}_{\text{ккл}} 4,6–5,0$) до очень сильно кислых ($\text{pH}_{\text{ккл}} < 4,0$ мг/экв. на 100 г) внесение сульфоаммофоса нецелесообразно. Вопрос осеннего внесения этого удобрения для исследователей также остается открытым. Другое дело, что фосфаты, особенно анион H_2PO_4^- , при хорошей растворимости сульфоаммофоса становятся быстродоступными, что особенно важно для таких культур, как подсолнечник, кукуруза.

Для растений подсолнечника недостаток фосфора в период от всходов до образования корзинки приводит к нарушению азотного обмена и снижению урожайности маслосемян. Растениями кукурузы в период от всходов до цветения фосфор потребляется медленнее и равномернее, нежели азот и калий, а после до окончания вегетации поступает в растение более высокими темпами. В период закладки репродуктивных органов растения кукурузы очень требовательны к наличию в почве легкоусвояемых форм фосфора (H_2PO_4^- и HPO_4^{2-}) [22]. Обеспечение вышеуказанных культур быстрым, т. е. легкоусвояемым фосфором возможно при внесении сульфоаммофоса весной.

В исследованиях вместе с различными видами удобрений и средствами защиты растений применялись биостимуляторы на основе гуминовых веществ, микробиологические препараты. Использование лигногумата на черноземных карбонатных

почвах в условиях Северо-Западного Предкавказья для возделывания озимой пшеницы способствовало повышению содержания элементов питания и их усвоению в течение всего периода вегетации. Для обработки растений в фазе весеннего кущения применяли лигногумат в дозе 0,35 л/га, для обработки семян – 10 л/т, что обеспечило увеличение потребления NPK растениями соответственно на 16,8; 23,4 и 13,9 % при обработке семян и на 17,4; 25,5 и 13,2 % – при обработке растений. Применение в этих исследованиях оптимальных доз лигногумата способствовало росту прибавок урожайности озимой пшеницы соответственно на 5,7 и 4,0 ц/га [23].

Научные данные подтверждают использование биостимуляторов в качестве сельскохозяйственного сырья для различных видов растений. Применение биостимуляторов на сельскохозяйственных растениях способствует усиленному росту корней, повышенному усвоению питательных веществ, стрессоустойчивости. Гуминовые вещества увеличивают урожайность, массу плода и ускоряют сроки созревания, улучшают качество продукции, положительно влияют на плодородие почв, структуру урожая: увеличение массы тысячи зерен, числа и массы зерен в колосе, числа продуктивных стеблей [24].

В исследованиях В. И. Лазарева, Ж. Н. Минченко показано, что эффективность гуминовых удобрений зависит от почвенно-климатических условий: действие гуминовых удобрений повышается в годы с лучшей влагообеспеченностью. Отклик растений на применение биостимуляторов различен. Зерновые культуры показывают среднюю отзывчивость. Прибавка урожаев по озимой пшенице варьирует в пределах от 17 до 20 %, яровой пшеницы и ярового овса от тех же видов и доз гуминовых удобрений – от 12 до 20 % к контролю. Выявлено, что использование гуминовых удобрений на посевах ярового ячменя экономически выгодно. Обработка семян и двукратная обработка посевов в фазе кущения и фазе начала выхода в трубку гуминовыми удобрениями повышала урожайность ярового ячменя на 3,7–5,1 ц/га, или 10,9–15,2 %, увеличивая тем самым стоимость валового продукта на 3700–5100 руб/га [25].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В агроклиматических условиях южно-предгорной зоны Республики Адыгея на основе экспериментальных данных многолетних исследований отделом земледелия НИИСХ ФГБОУ ВО МГТУ (до 2022 года – ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ») изучены и выявлены эффективные приемы возделывания в трехпольных и пятипольных севооборотах, включающие способы обработки почвы различной интенсивности, при комплексном применении различных видов и норм удобрений, средств защиты растений, биопрепаратов.

2. Проведенные в разные годы исследования показали, что удобрения и другие средства химизации в условиях изменений климата, физического и химического состояния почв, снижения содержания основных элементов питания и гумуса в почве и в долгосрочной перспективе сохраняют свое значение и роль наиболее эффективного средства повышения урожайности полевых культур и сохранения почвенного плодородия.

3. Приемы возделывания для трехпольных севооборотов включают следующие агротехнические мероприятия:

- глубокая обработка почвы от 20 до 27 см 1 раз в 3 года и обработка без оборота пласта от 16 до 18 см в севооборотах короткой ротации;
- для пятипольных севооборотов при благоприятно складывающихся условиях увлажнения и уборке пропашных культур в оптимальные сроки: вспашка под озимые зерновые на глубину 20–22 см, под пропашные и клевер на 25–27 см. При поздней уборке пропашных культур (кукуруза, подсолнечник) обработка почвы под озимые зерновые без оборота пласта на глубину 16–18 см двукратно;
- заделка соломы зерновых культур, посев рапса и использование его в качестве сидерального удобрения;
- уменьшение нормы основного полного удобрения на 25–30 % при малой глубине заделки удобрений (поверхностная обработка почвы);
- частичное перекапывание роли основного удобрения на внесение при посеве и подкормку аммиачной селитрой весной;
- применение конкретного вида удобрений и расчет доз внесения в зависимости от содержания лимитирующего элемента в почве – на черноземных почвах это азот;
- использование для основного внесения: под озимые зерновые осенью: видов и доз удобрений,

в которых количество азота в кг/га д. в. составляет 22–24 (не более 30) кг/га, с учетом содержания в почве усвояемых форм азота, а входящие в химический состав фосфаты действуют пролонгированно (аммофос). Под пропашные и бобовые весной: использование удобрений, в которых при корректировке доз внесения возрастает количество доступных для растений форм азота и быстроусвояемых фосфатов (сульфоаммофос).

Применение разработанных приемов возделывания способствовало:

- стабилизации почвенного плодородия: увеличению содержания аммиачной формы минерального азота весной по вспашке от 3,2 до 7,1; по поверхностной обработке – от 3,3 до 9,7 мг/кг почвы. Содержание гумуса в почвенных образцах снижалось по вспашке с 4,24 до 4,18 %, а по поверхностной обработке в слое 12–16 см повышалось от 4,21 до 4,24 %. Наблюдали снижение содержания фосфора, но в рамках повышенной группы обеспеченности от 44,8 до 31,6 и от 45,9 до 33,6 мг/кг почвы по вспашке и поверхностной обработке соответственно в динамике;
 - улучшению агрофизического состояния почвы в пахотном слое 0–30 см, плотность не превышала оптимальных для слитых черноземов величин (1,2–1,21 г/см³);
 - уменьшению плотности верхнего слоя почвы по обоим приемам обработки по сравнению с более глубокими слоями на 12–19 %;
 - повышению продуктивности 1 га пашни по последствию заделки соломы до 5,5 тЗЕ и с использованием рапса на сидерат до 5,8 тЗЕ (в сравнении с контролем).
- Отмечено положительное влияние дисковой обработки на содержание наиболее ценных агрегатов почвы (3,0–0,25 мм), количество которых в слое 0–30 см было примерно на 1,0 % выше, чем по вспашке.

Библиографический список

1. Пиляева О. В. Современные технологии возделывания зерновых культур // Эпоха науки. 2022. № 29. С. 18–22.
2. Карчагина Л. П., Тугуз Р. К., Мамсилов Н. И. Агроэкологический потенциал ландшафтов предгорной зоны Республики Адыгея // Новые технологии. 2016. Вып. 1. С. 99–105.
3. Вавилова Л. В. Оценка зимостойкости перспективных форм чая в условиях потепления зимнего периода в Адыгее // Новые технологии. 2018. Вып. 4. С. 193–200.
4. Девтерова Н. И. Изменение погодных условий и урожайность сельскохозяйственных культур в Адыгее // Земледелие. 2011. № 7. С. 9–11.
5. Варшанина Т. П., Мамсилов Н. И., Шехов З. А., Пьянков В. Ю. Инжиниринговая цифровая модель пространства сельскохозяйственных земель для подготовки и сопровождения агроэкологической составляющей точного земледелия // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы Международной конференции. Москва, 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 737–745. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-737-745.
6. Состояние плодородия земель сельскохозяйственного назначения Республики Адыгея. Майкоп: Центр агрохимической службы «Адыгейский», 2020. 20 с.

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

8. Девтерова Н. И. Урожайность кукурузы на зеленый корм при использовании удобрений, возобновляемых биоресурсов и уменьшении интенсивности обработки почвы // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки. 2018. № 3 (226). С. 118–121.

9. Девтерова Н. И., Благополучная О. А. Пути регулирования содержания запасов гумуса и основных элементов плодородия на черноземах выщелоченных слитых южно-предгорной зоны Адыгеи // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник докладов по материалам всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 60-летию ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ». Майкоп, 2021. С. 112–118.

10. Devterova N. I. Düngemittel effizienz und behandlung boden in anbau klee ausgelaugt, um schwarzerden south fuße zone Adygea zusammenführen // Science and Education: materials research and practice conference. Munich, 2013. Vol. I. Pp. 221–225.

11. Девтерова Н. И. Клевер в звене севооборота на черноземных почвах Адыгеи // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: сборник докладов по материалам всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2023. С. 152–156.

12. Kishev A. Y., Berbekov K. Z., Shibzukhova Z. S., Shibzukhov Z. G. S., Mamsirov N. I. Improvement of cultivation technology of winter durum wheat in the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic // E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”, FARBA. 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402028.

13. Gutorova O. A., Heudzen A. Kh., Hurum H. D. Environmental aspects of long-term use of mineral fertilizers on leached black soil of the Western Ciscaucasia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 659. Article number 012122. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012122.

14. Татошин И. Ф., Мамишева З. М., Хаткова С. А. Приемы минимизации основной обработки почвы и эффективность различных технологий возделывания на выщелоченных слитых черноземах Адыгеи // Современные проблемы почвозащитного земледелия и пути повышения устойчивости зернового производства в степных регионах: сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию РГП «НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева» МСХ РК. Шортанды, 2006. С. 139–143.

15. Кузыченко Ю. А., Кулинцев В. В., Кобзев А. К. Эффективность обработки почвы в севооборотах на различных типах почв Центрального Предкавказья // Земледелие. 2017. № 4. С. 19–22.

16. Девтерова Н. И., Благополучная О. А. Влияние различных приемов обработки почвы на продуктивность культур и агрофизические свойства слитых черноземов // Земледелие. 2019. № 3. С. 31–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10308.

17. Мамсиров Н. И., Макаров А. А. О роли агрофизических свойств черноземных почв в формировании урожая сельскохозяйственных культур // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства юга России: сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2019. С. 178–181.

18. Ширинян М. Х., Бугаевский В. К. Альтернативные системы применения удобрений в энергосберегающих технологиях возделывания озимых колосовых культур // Эволюция научных технологий в растениеводстве: сборник научной конференции. Краснодар, 2004. Т. 4. С. 98–102.

19. Девтерова Н. И., Мамсиров Н. И., Золотарева Ю. О. Усовершенствованная технология комплексного использования средств химизации при возделывании ячменя озимого на слитых черноземах Адыгеи: результаты исследований. Майкоп: ИП Магарин О. Г., 2011. 39 с.

20. Шафран С. А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур. Сообщение 1. Азотные удобрения // Агрохимия. 2021. № 7. С. 27–35. DOI: 10.31857/S0002188121070097.

21. Kvashin A. A., Neshchadim N. N., Yablonskay E. K., Gorpichenko K. N. Crop yield and the quality of sunflower seeds in the use of fertilizers and growth regulation substances // Helia. 2018. Vol. 41. No. 69. Pp. 227–239. DOI: 10.1515/helia-2017-0014.

22. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н., Онищенко Л. М. Питание и удобрение зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Краснодар: КубГАУ. 2012. 231 с.

23. Шеуджен А. Х., Гуторова О. А., Луценко И. М. Агрохимическая оценка применения Лигногумата в посевах озимой пшеницы в условиях Северо-Западного Предкавказья // Агрохимия. 2022. № 3. С. 31–40. DOI: 10.31857/S0002188122030103.

24. Лигногумат: общая информация, методика и результаты применения. Рекомендации для агрономов. Санкт-Петербург: ООО «НПО РЭТ», 2016. 48 с.

25. Лазарев В. И., Минченко Ж. Н. Рекомендации по применению гуминовых удобрений на посевах ярового ячменя. Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2023. 39 с.

Об авторах:

Наталья Ильинична Девтерова, старший научный сотрудник отдела земледелия Научно-исследовательского института сельского хозяйства, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0002-5859-2630, AuthorID 805306. E-mail: devterova55@mail.ru

Ольга Анатольевна Благополучная, старший научный сотрудник отдела земледелия Научно-исследовательского института сельского хозяйства, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0002-6135-6057, AuthorID 715325. E-mail: blagopoluchnaya@list.ru

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

References

1. Pilyaeva O. V. Modern technologies of cultivation of grain crops. *Epoch of Science*. 2022; 29: 18–22. (In Russ.)

2. Karchagina L. P., Tuguz R. K., Mamsirov N. I. Agroecological potential of the foothill landscapes of the Republic Adygea. *New Technologies*. 2016; 1: 99–105. (In Russ.)

3. Vavilova L. V. Stimulation of winter resistance of promising varieties of tea in the conditions of warming winter period in Adygea. *New Technologies*. 2018; 4: 193–200. (In Russ.)

4. Devterova N. I. Climate change and agricultural crops yield in Adygei republic. *Zemledelie*. 2011; 7: 9–11. (In Russ.)

5. Varshanina T. P., Mamsirov N. I., Shekhov Z. A., Piankov V. Yu. Engineering digital model of agricultural land space for preparation and maintenance of agroecological component of precision agriculture // InterCarto. InterGIS. Geoinformation support for sustainable development of territories: proceedings of the International conference. Moscow, 2022. Vol. 28. Part 1. Pp. 737–745. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-737-745. (In Russ.)

6. *The state of fertility of agricultural lands of the Republic of Adygea*. Maykop: Federal State Budgetary Institution “Center of Agrochemical service “Adygeyskiy”, 2020. 20 p. (In Russ.)

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

8. Devterova N. I. Productivity of maize green forage with use of fertilizers, renewable bioresources and reduction of intensity of soil processings. *Bulletin of the Adygea State University. Series: Natural-Mathematical and Technical Sciences*. 2018; 3 (226): 118–121. (In Russ.)

9. Devterova N. I., Blagopoluchnaya O. A. Ways to regulate the content of humus reserves and the main elements of fertility in chernozems leached from the southern foothill zone of Adygea. *Agrarian Science – Agriculture: Collection of reports based on the Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) dedicated to the 60th anniversary of the Federal State Budgetary Institution “Adygeisky Scientific Research Institute”*. Maykop, 2021. Pp. 112–118. (In Russ.)

10. Devtebova N. I. Düngemittel effizienz und behandlung boden in anbau klee ausgelaugt, um schwarzerden south fuße zone Adygea zusammenfüren. *Science and Education: materials research and practice conference*. Munich, 2013. Vol. 1. Pp. 221–225.

11. Devterova N. I. Clover in the link of crop rotation on the chernozem soils of Adygea. *Agricultural Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems and Ways to Solve Them: collection of reports based on the Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*. Maykop, 2023. Pp. 152–156. (In Russ.)

12. Kishev A. Y., Berbekov K. Z., Shibzukhova Z. S., Shibzukhov Z. G. S., Mamsirov N. I. Improvement of cultivation technology of winter durum wheat in the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic. *E3S Web of International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”*, FARBA. 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402028.

13. Gutorova O. A., Heudzen A. Kh., Hurum H. D. Environmental aspects of long-term use of mineral fertilizers on leached black soil of the Western Ciscaucasia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 659: 012122. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012122.

14. Tatoshin I. F., Mamisheva Z. M., Khatkova S. A. Techniques for minimizing basic tillage and the effectiveness of various cultivation technologies on leached fused chernozems of Adygea. *Modern Problems of Soil-Pro-*

tective Agriculture and Ways to Increase the Sustainability of Grain Production in Steppe Regions: collection of reports of the international scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of the RSE "NPC grain farming named after A. I. Baraev" of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Shortandy, 2006. Pp. 139–143. (In Russ.)

15. Kuzychenko Yu. A., Kulintsev V. V., Kobzev A. K. Efficiency of soil cultivation in crop rotations on various types of soils of the Fore-Caucasus. *Zemledelie*. 2017; 4: 19–22. (In Russ.)

16. Devterova N. I., Blagopoluchnaya O. A. Influence of tillage different methods on crop productivity and agrophysical properties of compacted chernozem. *Zemledelie*. 2019; 3: 31–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10308. (In Russ.)

17. Mamsirov N. I., Makarov A. A. On the role of agrophysical properties of chernozem soils in the formation of crop yields. *Actual Problems and Prospects for the Development of Agriculture in the South of Russia: collection of reports on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*. Maykop, 2019. Pp. 178–181. (In Russ.)

18. Shirinyan M. Kh., Bugaevskiy V. K. Alternative systems for the use of fertilizers in energy-saving technologies for cultivating winter crops. *Evolution of Scientific Technologies in Crop Production: collection of scientific conference*. Krasnodar, 2004. Vol. 4. Pp. 98–102. (In Russ.)

19. Devterova N. I., Mamsirov N. I., Zolotareva Yu. O. Improved technology for the integrated use of chemicals in the cultivation of winter barley on fused chernozems of Adygea: research results. Maykop: Individual Entrepreneur Magarin O. G., 2011. 39 p. (In Russ.)

20. Shafran S. A. Contribution of mineral fertilizers to the formation of the yield of field crops. Message 1. Nitrogen fertilizers. *Agrochemistry*. 2021; 7: 27–35. DOI: 10.31857/S0002188121070097. (In Russ.)

21. Kvashin A. A., Neshchadim N. N., Yablonskay E. K., Gorpichenko K. N. Crop yield and the quality of sunflower seeds in the use of fertilizers and growth regulation substances. *Helia*. 2018; 41 (69): 227–239. DOI: 10.1515/helia-2017-0014.

22. Sheudzhen A. Kh., Bondareva T. N., Onishchenko L. M. *Nutrition and fertilization of grain, cereal and leguminous crops*. Krasnodar: KubGAU, 2012. 231 p. (In Russ.)

23. Sheudzhen A. Kh., Gutorova O. A., Lutsenko I. M. Agrochemical estimation of Lignogumate on winter wheat crops in the conditions of the northwestern Precaucasia. *Agrochemistry*. 2022; 3: 31–40. DOI: 10.31857/S0002188122030103. (In Russ.)

24. *Lignohumate: general information, methods and results of application. Recommendations for agronomists*. Saint Petersburg: NPO RET LLC, 2016. 48 p. (In Russ.)

25. Lazarev V. I., Minchenko Zh. N. *Recommendations for the use of humic fertilizers on spring barley crops: a brochure*. Kursk: Kursk Federal Agrarian Scientific Center, 2023. 39 p. (In Russ.)

Authors' information:

Natalya I. Devterova, senior researcher at the department of agriculture, Scientific Research Institute of Agriculture, Maykop State Technological University, Maykop, Russia; ORCID 0000-0002-5859-2630, AuthorID 805306. E-mail: devterova55@mail.ru

Olga A. Blagopoluchnaya, senior researcher at the department of agriculture, Scientific Research Institute of Agriculture, Maykop State Technological University, Maykop, Russia; ORCID 0000-0002-6135-6057, AuthorID 715325. E-mail: blagopolu4naya@list.ru

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

Полиморфизм микросателлитных локусов в семье красной смородины с расщеплением по латеральному и терминальному типам плодоношения

М. А. Должикова[✉], А. В. Пикунова, А. А. Павленко, О. Д. Голяева

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

[✉]E-mail: dolzjikova@orel.vniispk.ru

Аннотация. Большой генетический потенциал адаптивности красной смородины к различным почвенно-климатическим условиям позволяет ее возделывать практически во всех регионах России. **Цель** работы – охарактеризовать полиморфизм микросателлитных локусов для проверки происхождения ЭЛС 1674-30-30 со спонтанно возникшим терминальным (верхушечным) плодоношением и гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), в которой наблюдается расщепление по типу плодоношения, присутствуют гибриды как с латеральным (боковым) типичным для культуры типом плодоношения, так и с терминальным. **Методы.** В лабораторных условиях производилась оценка полиморфизма микросателлитных локусов семьи красной смородины методом ПЦР и путем визуализации продуктов в полиакриламидных гелях. **Научная новизна.** Впервые дается оценка полиморфизма микросателлитных локусов семьи красной смородины, в которой присутствуют гибриды как с терминальным, так и с латеральным типом плодоношения. **Результаты.** По результатам исследований с помощью анализа микросателлитных локусов было подтверждено происхождение ЭЛС 1674-30-30 с терминальным плодоношением от сортов Нива и Вискне, а именно: не было обнаружено аллелей, амплифицируемых у отборного сеянца, но отсутствующих у родительских форм, и наоборот. Также по данным полиморфизма микросателлитных локусов было уточнено происхождение гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), часть из которых произошла от самоопыления материнской формы, часть – от опыления пыльцой иного генотипа. Предположительно на происхождение материнской формы 1674-30-30 с терминальным типом плодоношения повлияла мутационная изменчивость.

Ключевые слова: красная смородина, ДНК, микросателлитные маркеры, терминальное (верхушечное) плодоношение

Для цитирования: Должикова М. А., Пикунова А. В., Павленко А. А., Голяева О. Д. Полиморфизм микросателлитных локусов в семье красной смородины с расщеплением по латеральному и терминальному типу плодоношения // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 864–872. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-864-872>.

Дата поступления статьи: 27.09.2024, **дата рецензирования:** 09.12.2024, **дата принятия:** 11.03.2025.

Polymorphism of microsatellite loci in the red currant family with cleavage by lateral and terminal fruiting types

M. A. Dolzhikova[✉], A. V. Pikunova, A. A. Pavlenko, O. D. Golyaeva

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

[✉]E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru

Abstract. The great genetic potential of the red currant adaptability to various soil and climatic conditions allows it to be cultivated in almost all regions of Russia. **The purpose** of the study is to characterize the polymorphism of microsatellite loci for verifying the origin of ELS 1674-30-30 with spontaneously arisen terminal (apical) fruiting and hybrids of the family 2521, in which splitting by type of fruiting is observed and there are hybrids with both lateral (typical for culture) and terminal type of fruiting. **Methods.** Polymorphism of microsatellite loci of the red currant family was evaluated in laboratory conditions by PCR and by visualization of products in polyacrylamide gels. **Scientific novelty.** For the first time, the polymorphism of microsatellite loci is evaluated in the red currant family where hybrids with both terminal and lateral fruiting types are present. **Results.** According to the research results, using the analysis of microsatellite loci, the origin of ELS 1674-30-30 with terminal fruiting from the Niva and Veksne cultivars was confirmed; namely, no alleles were found that were amplified in the selected seedling, but absent in the parent forms, and vice versa. Also, according to the polymorphism of microsatellite loci, the origin of hybrids of the family 2521 was clarified – some of which originated from self-pollination of the maternal form and some from pollination with pollen of a different genotype. Presumably, the origin of the maternal form 1674-30-30 with terminal fruiting type was influenced by mutational variability.

Keywords: red currant, DNA, microsatellite markers, terminal (apical) fruiting

For citing: Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Pavlenko A. A., Golyaeva O. D. Polymorphism of microsatellite loci in the red currant family with cleavage by lateral and terminal fruiting types. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 864–872. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-864-872>. (In Russ.)

Date of paper submission: 27.09.2024, **date of review:** 09.12.2024, **date of acceptance:** 11.03.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Красная смородина – высокоурожайная, скороплодная и зимостойкая ягодная культура, которая обладает высокой степенью продуктивности. Ягоды красной смородины содержат большой набор витаминов, микроэлементов, сахаров, органических кислот, а также пектины, антоцианы и дубильные вещества [1–3]. В пищевой промышленности ягоды активно используют для приготовления соков, морсов, желе, мармелада и других полезных и витаминизированных продуктов питания [4–7].

Ареал распространения подрода *Ribesia* охватывает всю европейскую часть, Западную, Восточную Сибирь и Дальний Восток. На севере он заходит в Швецию, Норвегию, на юге – в Италию и Грецию. В Азии ареал на востоке охватывает Японию и Курильские острова, южная граница проходит по Киргизским степям, Гималаям и через Китай. Почти все современные сорта красной смородины являются сложными межвидовыми гибридами. Высокая пластичность и неприхотливость смородины позволяют ее возделывать от западных до восточных границ России. Если выращиваются оптимальные для региона сорта, красная смородина может дать высокие урожаи и в Заполярье.

Виды *Ribes* представляют собой кустарниковые растения, распространенные в первую очередь на умеренных территориях северного полушария. Существует несколько таксономических классификаций данного рода, однако наиболее качественно разработанными и точными считаются те, которые основаны либо на морфологических особенностях растений, либо на возможности скрещивать виды между собой.

Красная смородина имеет высокий потенциал продуктивности. Однако реализация зависит от ряда причин, к которым относятся генотип растений, их возраст и состояние, погодные условия во время цветения и формирования ягод, уровень агротехники. Фактическая или хозяйственная урожайность часто не отражает потенциальные возможности сортов. Российский сортимент красной смородины создавался и развивался в первую очередь за счет использования интродуцированных зарубежных сортов. На сегодняшний момент Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК, г. Орел) располагает одной из крупнейших в мире биоресурсных коллекций красной смородины, состоящей из более чем 80 сортов как российского, так и иностранного происхождения¹.

¹ <https://vniispk.ru/docs/bpk/2022-03/11-red-white-currant.pdf>.

Данная коллекция пополняется новыми сортами, которые обязательно проходят изучение на предмет возможности возделывания в определенных почвенно-климатических условиях и наличия тех или иных хозяйственно ценных признаков, а также степени их выраженности. Данная биоресурсная коллекция служит источником для ведения селекции красной смородины на комплекс важных хозяйственно-биологических показателей и получения новых сортов красной смородины. Как результат многолетней целенаправленной селекции в ФГБНУ ВНИИСПК создан и передан на государственное испытание 21 сорт красной смородины, из которых более 10 сортов внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Данные сорта улучшили имеющийся сортимент красной смородины по Центрально-Черноземному региону [8].

Основой улучшения сельскохозяйственных культур является генетическая изменчивость. Селекционер использует ее для создания новых сортов, стремясь объединить желательные признаки родительских форм в гибридах, которые способны превзойти своих предков в выражении различных хозяйственно полезных признаков, таких как урожайность, качество, устойчивость к болезням и т. д. [9]. Не является исключением и красная смородина: перед селекционерами стоит задача получения новых сортов с улучшенными хозяйственно полезными признаками.

Для красной смородины и рода смородин в целом типично латеральное (боковое) плодоношение. Для ряда культур (например, для грецкого ореха) боковой тип плодоношения считается желательным, поскольку обеспечивает наибольший урожай. Более 80 % сортов грецкого ореха, распространенных в странах с его развитым производством, обладают латеральным типом плодоношения. В этом случае женские цветки появляются не только на и при апикальных почках, но также почти во всех пазушных почках зеленого побега. В связи с этим орехи располагаются по всей ветке на вершинах латеральных побегов. Такие ветки будут продолжать плодоносить несколько лет при условии хорошего освещения и ухода за растениями [10–12].

В результате научных исследований группой ученых под руководством О. Д. Голяевой [13] в гибридной семье красной смородины 1674 (Нива × Виксне), полученной от родителей с типичным боковым типом плодоношения, был отобран уникальный сеянец 1674-30-30, у которого наблюдается верхушечный тип плодоношения: на верхушках отдельных побегов закладывается цветковая почка, из которой развиваются плодовая кисть и листья, что несвойственно для красной смородины. Подобная кисть встречается у *R. Bracteosum*.

Почти все современные сорта красной смородины были получены от таких видов, как садовая смородина (*R. vulgare* Lam.), крупноплодная смородина (*R. vulgare* var. *macrocarpum*), красная смородина (*R. rubrum* L.), красная смородина скалистая (*R. petraeum* Wulf.), многоцветковая смородина (*R. multiflorum* Kit.), смородина Варшавича (*R. warszewiczii* Jancz.), смородина Пальчевского (*R. palczewskii* (Jancz.) Pojark и их гибриды. Другие виды и их гибриды ценны как исходный материал для дальнейшей селекции. Внутривидовые отношения рода *Ribes* остаются весьма спорными. Классификация *Ribes* на данный момент остается также неясной из-за широкого географического распространения, большой доли межвидовой гибридизации и высокого фенотипического разнообразия.

Виды смородины, входящие в одну секцию, достаточно легко скрещиваются между собой. В контактной зоне ареалов разных видов красной смородины находят их спонтанные гибриды. В литературных источниках приведены сведения о нахождении в природе 17 спонтанных межвидовых гибридов красных смородин [13].

Развитие селекционной работы требует большего вовлечения в селекцию гибридов с расширенным спектром генетической изменчивости.

Основой селекционных исследований и получения новых сортов и форм остается скрещивание генетико-географически разных образцов для получения нового генотипа с желаемыми качествами и свойствами. Этот процесс, в том числе и у ягодных культур, длится сравнительно долгое время. Как правило, в селекционных программах используют родительские формы, обладающие теми свойствами и качествами, которых нет у другой родительской формы, чтобы на выходе получить новый генотип, обладающий всеми желаемыми свойствами. Выявление генетического родства помогает целенаправленно находить родительские пары к скрещиванию, формируя разнообразные на генетическом уровне и высокоадаптивные сорта. Генетическое различие исходных сортов и форм в селекции смородины – база формирования долговременно устойчивых сортов.

Для успешной селекции недостаточно ограничиваться только традиционными методами (гибридизацией и другими). Следует сочетать данные методы с новыми, связанными с исследованиями на генетическом уровне. Один из наиболее перспективных методов для селекции красной смородины и других сельскохозяйственных культур – использование ДНК-маркеров.

ДНК-маркеры могут быть полезны для определения индивидуальных генотипических различий внутри одного или между разными видами. Полиморфизмы молекулярных маркеров обусловлены различными типами мутаций ДНК, которые созда-

ют различия в нуклеотидных последовательностях между организмами. Как правило, маркерные полиморфизмы в организмах – это последствия точечных мутаций, (возникающих в результате однонуклеотидных замен), перестроек в виде вставок (могут быть вызваны ретротранспозонами) или делеций, дупликаций участков ДНК, транслокаций и инверсий, а также ошибок при репликации tandemно повторяющихся ДНК.

Важное преимущество ДНК-маркерных технологий состоит в том, что они позволяют найти отличия между двумя близкородственными организмами, что в ряде случаев крайне сложно или вовсе невозможно сделать с помощью других видов маркеров.

Цель настоящей работы – охарактеризовать полиморфизм микросателлитных локусов для проверки происхождения ЭЛС 1674-30-30 со спонтанно возникшим терминальным (верхушечным) типом плодоношения и гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Виксне) × свободное опыление), в которой наблюдается расщепление по типу плодоношения, присутствуют гибриды как с латеральным (боковым) типичным для культуры типом плодоношения, так и с терминальным.

Методология и методы исследования (Methods)

ДНК экстрагирована из ткани молодых листьев с помощью СТАВ-метода (Doyle & Doyle) с добавлением меркаптоэтанола в лизирующий буфер.

Ткань листьев с добавлением подогретого рабочего раствора лизирующего буфера и специальных бусин измельчали в свежем виде. Далее проводили инкубацию полученной смеси на водяной бане 60 минут при температуре 65 °С. Затем – очистку смесью хлороформа и изоамилактола (24 : 1), добавляя по 750 мкл к каждому образцу. При необходимости очистку проводили дважды. Далее полученную смесь перемешивали на ротаторе в течение 15 минут.

Получившуюся смесь в пробирках центрифугировали на скорости 10 000 об/мин в течение 10 минут. В результате в пробирках происходило разделение фаз.

Верхнюю фазу, в которой содержится ДНК и примеси, отбирали в новую 1,5 мл пробирку. К полученной смеси добавляли предварительно охлажденный изопропиловый спирт. Полученную смесь тщательно перемешивали.

Затем повторяли этап проведения центрифугирования полученной смеси при 10 000 об/мин в течение 10 минут. ДНК после центрифугирования выпадает в осадок. Полученный осадок промывали раствором 70-процентного этанола. При необходимости очистку повторяли дважды.

Спирт удаляли путем сливания в емкость, краткого открывания, отбора микропипеткой. Затем просушивали пробирки с полученным осадком в твердотельном термостате. Полученный осадок разводили в буфере TE (1M Tris HCl, 0,5M EDTA).

После растворения осадка полученный раствор ДНК встряхивали и центрифугировали.

Качество выделенной ДНК для генотипирования имеет решающее значение для получения достоверных последующих результатов и возможности их сравнительного анализа. Как отмечают многие авторы, низкое качество и малое количество ДНК могут обусловить амплификацию в гетерозиготах предпочтительно только одной более короткой аллели, что проявляется как «выпадение» (dropout) аллели.

В итоге выделения получается концентрированная ДНК. Для дальнейших исследований необходимо проверить на чистоту и концентрацию. В данных исследованиях проверка качества проводилась методом разгонки ДНК в 0,8-процентном агарозном геле вместе с контрольной ДНК с уже известной концентрацией (ДНК фага лямбда). Сравнивая интенсивность свечения с контрольным образцом, приблизительно оценивали концентрацию выделенной ДНК и устанавливали необходимую кратность разведения в 10 раз для дальнейшего проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР).

При этом следует отметить, что химический состав листьев, обусловленный особенностями вида и сорта, может повлиять на результаты выделения. При работе с некоторыми сортами красной смородины понадобилось дважды произвести осаждение ДНК из раствора изопропанолом для достижения достаточного качества ДНК.

ПЦР-анализ проводили в реакционной смеси объемом 20 мкл, содержащей:

- 1 × ПЦР буферный раствор;
- 200 мкМ нуклеотидов;
- 2 мкМ прямого праймера;
- 2 мкМ обратного праймера;
- 0,3 ед. Taq ДНК-полимеразы;
- 10 нг ДНК.

ПЦР экстрагированной ДНК со специфическими SSR-праймерами проводили с использованием реактивов и BioTaq полимеразы фирмы Dialat Ltd. на амплификаторе Bio-Rad T100 Thermal Cycler. Реакция амплификации: предварительная денатурация – 5 минут при 95 °С; денатурация – 30 с при 95 °С; отжиг праймера – 30 с; синтез ДНК – 30 с при 72 °С (30 циклов); элонгация – 10 минут при 72 °С.

На первоначальном этапе осуществили подбор микросателлитных локусов для дальнейших исследований. Всего протестировано на небольшой выборке образцов около 70 пар праймеров микросателлитных локусов. Из них около половины были ранее опубликованы и использовались для изучения представителей рода смородина зарубежными исследовательскими группами, а сиквенсы остальных пар праймеров были разработаны на базе сиквенсов смородины, размещенных в базе данных NCBI, и предоставлены Nahla Bassil.

Таблица 1

Характеристика микросателлитных локусов

№	Локус	Группа сцепления	Прямой праймер	Обратный праймер
1	e1-O21	4	TCT CTC CAA CTG AGA AGG AAA A	GAT TTG TTC TTG TGC AGC GA
2	g1-L12	5	CGA AGG TTG AAT CGG TGA GT	TTG TGA GCC GTA ACC ACG TA
3	Cra-531	6	AGA AGT GAA AGT GGA AGA ACC	GTT TGT TTG AAG GAA GAC AGA GA
4	e3-B02	5	AAG ACG AAG ACG ACG ACG AT	CTG ATC TTT GCC GAA TGG TT

Table 1

Characteristics of microsatellite loci

No.	Locus	Linkage group	Direct primer	Reverse primer
1	e1-O21	4	TCT CTC CAA CTG AGA AGG AAA A	GAT TTG TTC TTG TGC AGC GA
2	g1-L12	5	CGA AGG TTG AAT CGG TGA GT	TTG TGA GCC GTA ACC ACG TA
3	Cra-531	6	AGA AGT GAA AGT GGA AGA ACC	GTT TGT TTG AAG GAA GAC AGA GA
4	e3-B02	5	AAG ACG AAG ACG ACG ACG AT	CTG ATC TTT GCC GAA TGG TT

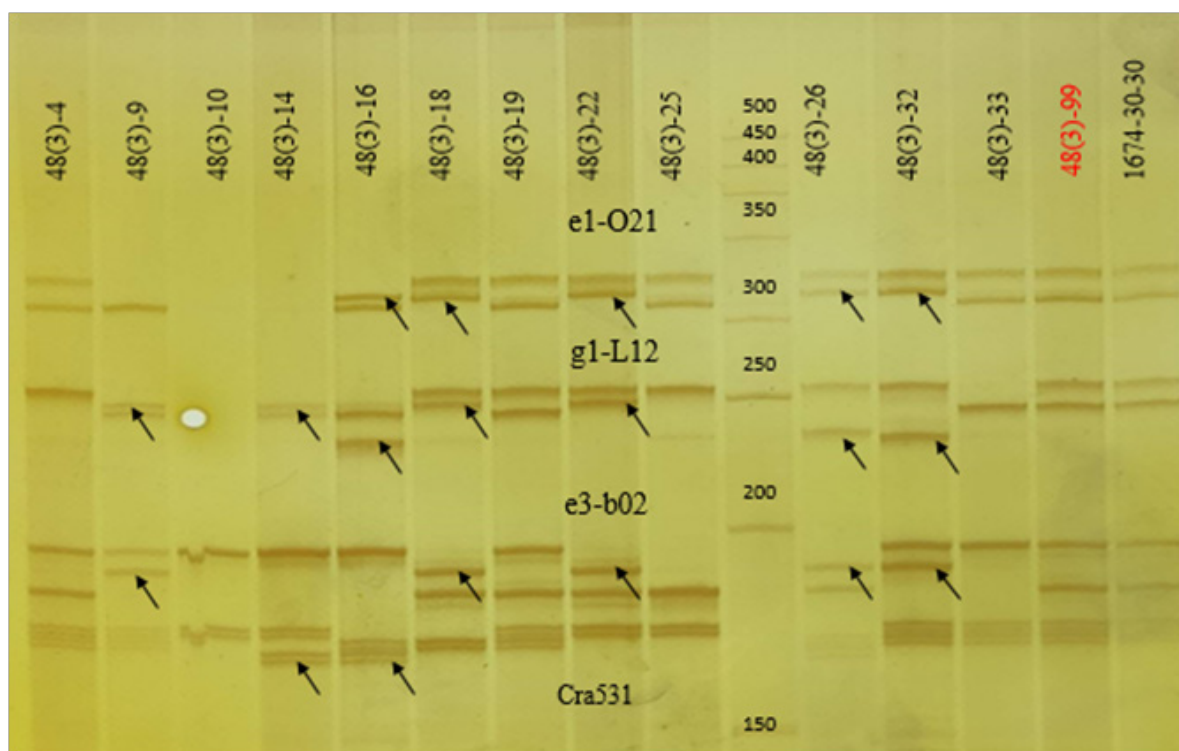


Рис. 1. Полиморфизм микросателлитных локусов гибридов, полученных от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. Стрелкой указаны аллели, отсутствующие у ЭЛС 1674-30-30 (8 % ПААГ). Черным цветом указаны гибриды без верхушечного плодоношения, красным – с верхушечным плодоношением
Fig 1. Polymorphism of microsatellite loci of hybrids obtained from free pollination of ELS 1674-30-30. The arrow indicates the alleles missing in ELS 1674-30-30 (8 % of PAAG). Hybrids without apical fruiting are indicated in black, while those with apical fruiting are indicated in red

Основной прием оптимизации условий ПЦР, использованный в данной работе, – это повышение или снижение температуры отжига праймеров. Остальные параметры – концентрация хлорида магния, концентрация праймеров, концентрация ДНК, число циклов амплификации – сохранялись достаточно жесткими во избежание неспецифической амплификации. При наличии неспецифических профилей амплификации (в широком диапазоне размеров), температура отжига повышалась, если после повышения все фрагменты равномерно

блекли, но оставались, то профиль в целом считали неспецифическим для микросателлитных локусов.

На первоначальном этапе исследований на материнской форме, ее родителях (сорта Нива и Виксне) и нескольких гибридах проанализировали 14 локусов: g1-K04, g1-M07, e1-O01, Cra-489, Cra-531, e3-B02, g2-L17, g2-G12, g2-H21, e1-O21, gr2-J05, g1-A01, g2-J08, g1-L12.

На всех гибридах изучили полиморфизм четырех локусов: e1-O21, g1-L12, e3-B02, Cra-531 (таблица 1).

Объектом исследований являлась гибридная семья красной смородины 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), материнская форма (ЭЛС 1674-30-30) и ее родители (сорта Нива и Вискне), в которой наблюдается расщепление по терминальному плодоношению. У родительских форм ЭЛС 1674-30-30, а именно у сортов Нива и Вискне, верхушечное плодоношение отсутствует. Данная гибридная семья имеет большую ценность в дальнейшей селекции по выходу сеянцев с длинными кистями, а также сеянцев, устойчивых к грибным заболеваниям (в том числе часть сеянцев с верхушечным плодоношением).

Результаты (Results)

В результате анализа полиморфизма 14 микросателлитных локусов ЭЛС 1674-30-30 и его родительских форм сортов Нива и Вискне выявлено, что ЭЛС 1674-30-30 унаследовал аллели по изучаемым локусам от обоих родителей. Аллелей, которые имеются у ЭЛС 1674-30-30, но отсутствуют у родителей, не было обнаружено.

Таким образом, на данном этапе исследований было установлено, что отборный сеянец 1674-30-30 действительно является гибридом от скрещивания Нива × Вискне.

Далее по подобранным четырем микросателлитным локусам *e1-O21*, *g1-L12*, *e3-B02*, *Cra-531* [14] была проанализирована вся гибридная семья красной смородины 2521, полученная от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. По полученным данным полиморфизма микросателлитных локусов гибриды изучаемой семьи (61 гибрид) можно условно разделить на две группы.

Первая группа не имеет иных аллелей, кроме амплифицируемых у матери, и, вероятно, гибриды этой группы (всего 33 гибрида) произошли от самоопыления (рис. 1).

Гибриды второй группы (28 гибридов) имеют аллели, отсутствующие у материнской формы, и, вероятно, произошли от перекрестного опыления (рис. 1). На представленном рисунке это гибриды 48(3)-16, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 (по локусу *e1-O21*); 48(3)-9, 48(3)-14, 48(3)-16, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 (по локусу *g1-L12*); 48(3)-9, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 по локусу *e3-B02*; 48(3)-14, 48(3)-16 (по локусу *Cra-531*).

При этом терминальное плодоношение встречается как в первой, так и во второй группе изучаемых гибридов. Аллелей, которые отличали бы группы гибридов с терминальным и латеральным плодоношением, не обнаружено.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Ранее в ходе проведения исследований лабораторией селекции и сортоизучения смородины в 2017–2020 годах в селекционном саду Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур в селекционной семье 1674

(Нива × Вискне) был обнаружен уникальный для красной смородины сеянец 1674-30-30, у которого наблюдается верхушечный тип плодоношения, при котором на верхушечных побегах закладывается смешанная почка, из которой в последующем развиваются плодовая кисть и листья, что абсолютно несвойственно для красной смородины [12].

В последующей работе селекционерами нашего института была получена и высажена на опытном селекционном участке ФГБНУ ВНИИСПК гибридная семья красной смородины 2521 от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. В данной семье присутствуют гибриды как с боковым, так и с верхушечным плодоношением (рис. 2). Очевидно, что верхушечный тип плодоношения наследуется и присутствует у ЭЛС 1674-30-30 в гетерозиготном состоянии. В процессе полевых наблюдений было установлено, что растения с верхушечным типом плодоношения быстрее стареют, чем сеянцы с латеральным типом плодоношения.

ЭЛС 1674-30-30 получена от межвидового скрещивания. Сорт Нива среднераннего срока созревания создан во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур от скрещивания сортов Миннесота и Чулковская и является потомком от *R. rubrum* во втором поколении. Кисти средней длины, достаточно плотные, однобокие. Сорт Вискне раннего срока созревания, получен от посева семян смородины Варшевича. Кисти достаточно длинные, цилиндрической формы, плотные.

В предыдущих исследованиях сортовой генофонд красной смородины биоресурсной коллекции ВНИИСПК был проанализирован с применением генотипирования путем секвенирования (genotyping by sequencing). В результате секвенирования было получено в среднем 1,5 млн прочтений. В общей сложности было обнаружено более 8500 дуаллельных SNP-маркеров [14].



Рис. 2. Сеянец гибридной семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 свободное опыление) с терминальным плодоношением

Fig. 2. Seedling of the hybrid family 2521 (ELS 1674-30-30 free pollination) with terminal fruiting

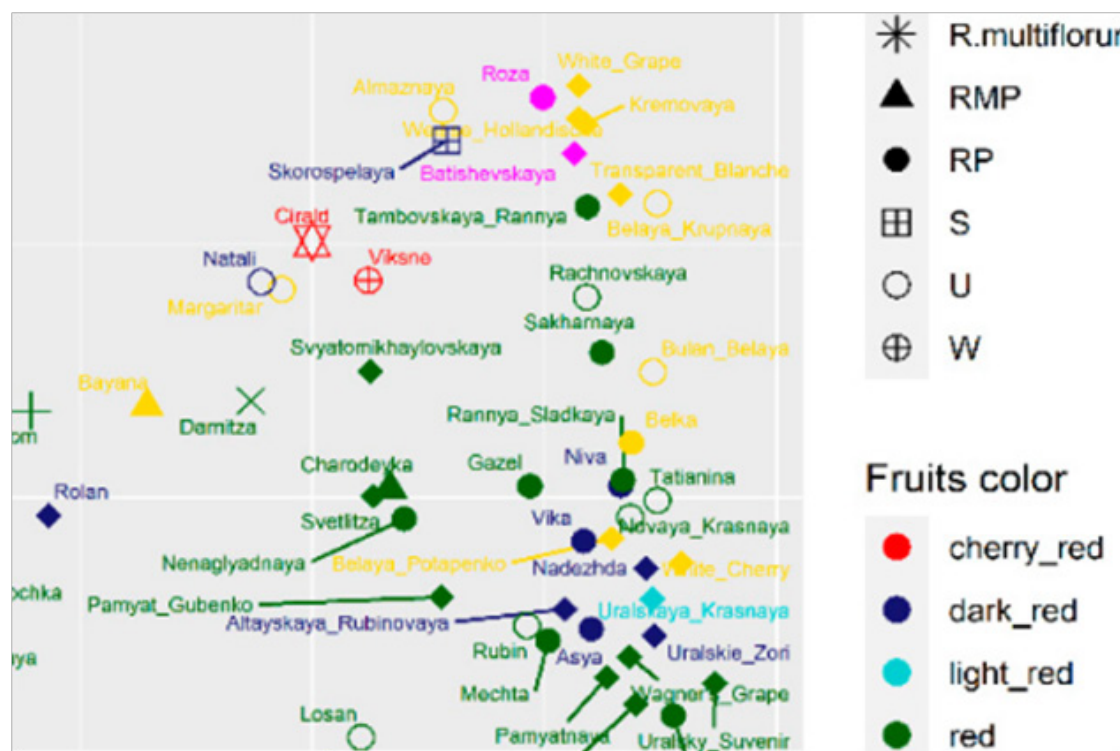


Рис. 3. Часть графика MDS по данным GBS о полиморфизме генотипов красной смородины.

W – потомок *R. Warscewicz*

Fig. 3. Part of the MDS graph based on GBS data on polymorphism of red currant genotypes.

W – is a descendant of *R. warscewicz*

На основе полученных данных GBS был проведен анализ с многомерным масштабированием (MDS) (рис. 3), на котором наглядно видно расположение сортов Нива и Вискне в разных частях представленного графика.

Admixture-анализ GBS-данных выборки сортов красной смородины, содержащей 75 сортов красной смородины различного генетического происхождения, условно разделил все сорта на 6 кластеров, при этом сорт Вискне (потомок *R. warscewicz*) вошел во второй кластер. Сорт Нива по происхождению вошел в третий кластер. Данный сорт является потомком от *R. Rubrum* во втором поколении [15]. Таким образом, GBS-анализ подтвердил, что сорт Вискне и сорт Нива достаточно генетически различны.

В рамках данной работы с помощью анализа микросателлитных локусов подтверждено происхождение элитного сеянца с терминальным плодоношением от сортов Нива и Вискне и установлена природа происхождения гибридов изучаемой семьи красной смородины 2521, часть из которых произошла от самоопыления, а часть – от опыления иной пыльцой.

В дальнейших исследованиях будет продолжена исследовательская работа по установлению генетических основ нового признака – верхушечного плодоношения у красной смородины. Однако уже на данном этапе исследований можно сделать предположение, что произошла мутация в одном гене.

Библиографический список

1. Berk S., Gundogdu S., Tuna S., Tas A. Role of maturity stages on phenolic compounds and organic acids contents in red currant fruits // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20, No. 2. Pp. S1054–S1071. DOI: 10.1080/15538362.2020.1774476.
2. Новикова И. М., Блинникова О. М., Блохина Т. С. Оценка качества ягод красной смородины как источника БАВ [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2022. Т. 5, № 3. URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4924> (дата обращения: 02.09.2024).
3. Макаркина М. А., Павел А. Р., Ветрова О. А. Биохимическая оценка сортов некоторых плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 18–21. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21.
4. Макаркина М. А., Ветрова О. А., Богомолова Н. И. Изучение содержания каротиноидов в плодах ягодных культур // Садоводство и виноградарство. 2023. № 5. С. 49–55. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-5-49-55.

5. Панфилова О. В., Калинина О. В. Красная смородина: путь от селекции к производству // Наше сельское хозяйство. 2020. № 3. С. 126–128.
6. Гахраманова А. М. Биодоступность антиоксидантов сока ягод черной и красной смородины в пастилках // Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию кафедры токсикологической химии. Пермь, 2022. С. 91–93.
7. Асманова А. З., Сабитова Л. М., Багаутдинов И. И. Использование сока из ягод красной смородины в производстве мармелада // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей II международной научно-практической конференции в рамках международного научно-практического форума, посвященного Дню хлеба и соли. Саратов, 2021. С. 208–212.
8. Голяева О. Д., Курашев О. В., Князев С. Д., Бахотская А. Ю. Новые сорта смородины и крыжовника селекции ВНИИСПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 41–46.
9. Yahaya M. A., Shimelis H., Laing M., Mohammed M. S., Mathew I. (Methodologies for hybridization in predominantly self-pollinating crops: a review // Journal of Crop Improvement. 2020. Vol. 34, No. 2. Pp. 268–289.
10. Зубков А. В., Антоненко В. В., Самощенко Е. Г. Особенности цветения и формирования плодов *Juglans regia* L. с латеральным типом плодоношения в условиях Нечерноземной зоны средней полосы России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 1, № 3. С. 22–33.
11. Корниенко П. С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 29 (192). С. 46–58.
12. Супрун И. И., Лободина Е. В., Аль-Накиб Е. А., Авакимян А. О. Поиск и оценка перспективных форм ореха грецкого в местных семенных популяциях Краснодарского края // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. Т. 79, № 1. С. 45–59.
13. Golyaeva O., Panfilova O., Kalinina O., Okatan V. Formation when using interspecific crossings in the *Ribes* subgenus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Article number 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012038.
14. Должикова М. А., Пикунова А. В., Павленко А. А., Голяева О. Д. ДНК-паспортизация сортов смородины красной зарубежной селекции биоресурсной коллекции ВНИИСПК с применением SSR-маркеров // Современное садоводство. 2023. № 4. DOI: 10.52415/23126701_2023_0401.
15. Pikunova A., Goryunova S., Goryunov D., Golyaeva O., Dolzhikova M., Pavlenko A. Genetic diversity and pedigree analysis of red currant germplasm // Plants. 2022. Vol. 11, No. 13. Article number 1623. DOI: 10.3390/plants11131623.

Об авторах:

Мария Александровна Должикова, младший научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277. E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru

Анна Викторовна Пикунова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838. E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru

Анна Андреевна Павленко, младший научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311. E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru

Ольга Дмитриевна Голяева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения смородины, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-1106-634X, AuthorID 607472. E-mail: golyaeva@vniispk.ru

References

1. Berk S., Gundogdu S., Tuna S., Tas A. Role of maturity stages on phenolic compounds and organic acids contents in red currant fruits. *International Journal of Fruit Science*. 2020; 2: S1054–S1071. DOI: 10.1080/15538362.2020.1774476.

2. Novikova I. M., Blinnikova O. M., Blokhina T. S. Assessment of the quality of red currant berries as a source of biologically active substances. *Science and Education* [Internet] 2022 [cited 2024 Sep 02]; 5. Available from: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4924>. (In Russ.)
3. Makarkina M. A., Pavel A. R., Vetrova O. A. Biochemical assessment of some fruit and berries varieties in selection of all-russian research institute for fruit crop breeding. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2020; No. 4: 18–21. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21 (In Russ.)
4. Makarkina M. A., Vetrova O. A., Bogomolova N. I. Study on carotenoid content in berry fruits. *Horticulture and Viticulture*. 2023; 5: 49–55. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-5-49-55. (In Russ.)
5. Panfilova O. V., Kalinina O. V. Red currant: the path from breeding to production. *Our Agriculture*. 2020; 3: 126–128. (In Russ.)
6. Gakhramanova A. M. Bioavailability of antioxidants of black and red currant berry juice in lozenges. *Bulletin of the Perm State Pharmaceutical Academy: A scientific and practical journal. Scientific and practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Department of Toxicological Chemistry*. Perm, 2022. Pp. 91–93. (In Russ.)
7. Asmanova A. Z., Sabitova L. M., Bagautdinov I. I. The use of juice from red currant berries in the production of marmalade. *Food technologies of the future: innovations in production and processing of agricultural products: collection of articles of the II international scientific-practical conference within the framework of the international scientific-practical forum dedicated to the Day of Bread and Salt*. 2021. Pp. 208–212. (In Russ.)
8. Golyaeva O. D., Kurashev O. V., Knyazev S. D., Barkhotskaya A. Yu. New varieties of currants and gooseberry breeding plants. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2020; 4: 41–46. (In Russ.)
9. Yahaya M. A., Shimelis H., Laing M., Mohammed M. S., Mathew I. (Methodologies for hybridization in predominantly self-pollinating crops: a review. *Journal of Crop Improvement*. 2020; 34 (2): 268–289.
10. Zubkov A. V., Antonenko V. V., Samoshchenkov E. G. Features of flowering and fruit formation of *Juglans regia* L. with the lateral type of fruiting in the conditions of the Non-Chernozem region of Central Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; 1 (3): 22–33. (In Russ.)
11. Kornienko P. S. Comparative analysis states and the spread of walnut in the world, as well as the problems of its cultivation in Russia. *Izvestia of Agricultural Science of Taurida*. 2022; 29 (192): 46–58. (In Russ.)
12. Suprun I. I., Lobodina E. V., Al-Naqib E. A., Avakimyan A. O. Search and evaluation of perspective forms of the walnut growing on the territory of the Krasnodar territory. *Fruit Growing and viticulture of the South of Russia*. 2023; 79 (1): 45–59. (In Russ.)
13. Golyaeva O., Panfilova O., Kalinina O., Okatan, V. Formation when using interspecific crossings in the *Ribesia* subgenus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022: 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012038. (In Russ.)
14. Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Pavlenko A. A., Golyaeva O. D. DNA certification of foreign red currant cultivars of the VNIISPK bioresource collection using SSR markers. *Contemporary Horticulture*. 2023; 4. DOI: 10.52415/23126701_2023_0401. (In Russ.)
15. Pikunova A., Goryunova S., Goryunov D., Golyaeva O., Dolzhikova M., Pavlenko A. Genetic diversity and pedigree analysis of red currant germplasm. *Plants*. 2022; 11 (13): 1623. DOI: 10.3390/plants11131623.

Authors' information:

Mariya A. Dolzhikova, junior researcher at the laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277. *E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru*

Anna V. Pikunova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838. *E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru*

Anna A. Pavlenko, junior researcher at the Laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311. *E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru*

Olga D. Golyaeva, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of currant breeding and variety research, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0003-1106-634X, AuthorID 607472. *E-mail: golyaeva@vniispk.ru*

Защита рапса от вредителей: «химия» или «биология»

М. А. Пазин✉, А. В. Пьяных

Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого, Кемерово, Россия

✉E-mail: mister.pazin@mail.ru

Аннотация. Цель работы – дать оценку химическим веществам, используемым на посевах рапса, и рассмотреть вред, наносимый ими по отношению к млекопитающим, пчелам и энтомофагам, а также привести примеры эффективного использования биологических мер борьбы с вредителями рапса. **Методы.** При написании обзорной статьи нами использовался один из основных методов – систематическое литературное обозрение, в рамках которого проводились поиск, отбор и анализ всех доступных трудов с целью получения максимально полного представления по заявленной проблематике и тематике. Также нами был применен метаанализ. **Научная новизна.** Для защиты от вредных объектов аграрии вынуждены использовать широкий спектр химических средств практически на всем протяжении вегетации рапса. Поэтому использование в земледелии биологических средств защиты становится все более актуальным. Рассмотрены результаты многолетних исследований российских и иностранных ученых о негативных последствиях применения средств защиты рапса от вредных насекомых и поиска альтернативы химическим инсектицидам. **Результаты.** Приведена малая часть исследований по последствиям воздействия инсектицидов, применяемых на рапсе, на организм человека и экологию в целом, что заставляет задуматься об альтернативном пути борьбы по снижению численности вредных насекомых. Доказана биологическая эффективность биоинсектицидов при обработке посевов рапса против рапсового цветоеда, капустной тли и моли. В природе существует немало растений, пригодных к использованию в качестве сырья для биопестицидов. Их применение стимулирует развитие растений и способствует привлечению пчел. Бинарные и краевые посевы рапса с эфиромасличными растениями-репеллентами показали свою эффективность против вредных объектов с увеличением доли в агроценозе полезных насекомых.

Ключевые слова: яровой рапс, вредители рапса, инсектициды, эфиромасличные репеллентные растения, биопестициды

Для цитирования: Пазин М. А., Пьяных А. В. Защита рапса от вредителей: «химия» или «биология» // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 873–886. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-873-886>.

Дата поступления статьи: 15.01.2025, **дата рецензирования:** 04.03.2025, **дата принятия:** 03.04.2025.

Protecion of rape from pests: “Chemistry” or “Biology”

М. А. Pazin✉, А. V. Pyanykh

Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Kemerovo, Russia

✉E-mail: mister.pazin@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to assess the chemicals used in rapeseed crops and the harm they cause to mammals, bees and entomophages, as well as to provide examples of the effective use of biological measures to combat rapeseed pests. **Methods.** When writing the review article, we used one of the main methods - a systematic literature review, which included a search, selection and analysis of all available works in order to obtain the most complete understanding of the stated problems and topics. We also used meta-analysis. **Scientific novelty.** To protect against harmful objects, farmers are forced to use a wide range of chemical pesticides almost throughout the entire vegetation period of rape. Therefore, the use of biological pesticides in agriculture is becoming increas-

ingly relevant. The article considers the results of many years of research by Russian and foreign scientists on the negative effects of using rapeseed pesticides and the search for an alternative to chemical insecticides. **Results.** A small part of the research on the effects of insecticides used on rapeseed on the human body and the environment as a whole is given, which makes us think about an alternative way to combat the reduction of harmful insects. The biological effectiveness of bioinsecticides in the treatment of rapeseed crops against the rape blossom beetle, cabbage aphid and moth has been proven. There are many plants in nature that can be used as raw materials for biopesticides. Their use stimulates plant development and helps attract bees. Binary and marginal crops of rapeseed with essential oil plants-repellents have shown their effectiveness against harmful objects with an increase in the share of beneficial insects in the agrocenosis.

Keywords: spring rape, rape pests, insecticides, essential oil repellent plants, biopesticides

For citation: Pazin M. A., Pyanykh A. V. Protection of rapeseed from pests: “Chemistry” or “Biology”. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 873–886. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-873-886>. (In Russ.)

Date of paper submission: 15.01.2025, **date of review:** 04.03.2025, **date of acceptance:** 03.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Яровой рапс является одной из центральных культур в аграрном производстве благодаря своей универсальности и высокой продуктивности. Его семена содержат значительное количество питательных веществ: в пересчете на абсолютно сухое вещество – 45–48 % жира, 21–23 % белка, 6–7 % клетчатки и до 24–26 % безазотистых экстрактивных соединений, что делает рапс ценным как для производства масла, так и для кормления животных.

Подходящие условия для его роста, особенно в Сибирском федеральном округе, позволяют достигать рекордной урожайности зеленой массы (500–700 ц/га), что, в свою очередь, способствует обеспечению животных высококачественным кормом. Рапс также отлично выполняет функции улучшения структуры почвы, способствует ее насыщению органическими веществами и предотвращает эрозию, является прекрасным медоносом, не уступая в этом плане традиционной гречихе [1].

Научные работы в области переработки рапсовой соломы открыли новые горизонты, позволяя использовать отходы для получения активного угля, способствующего восстановлению экосистемы. Дополнительным экологическим положительным аспектом является выделение рапсом кислорода, что укрепляет его позиции как важной культуры для устойчивого развития сельского хозяйства. В течение вегетации 1 га рапса выделяет до 10 млн л кислорода, что в 1,5–2 раза больше, чем 1 га леса [2].

Однако значительное количество вредителей, угрожающих урожайности, требует применения интегрированных методов защиты, чтобы минимизировать потери и сохранить высокую продуктивность. Среднегодовая потеря урожая из-за вредителей составляет 13 %, что подчеркивает необходимость постоянного мониторинга и разработки новых подходов к защите растений.

Наиболее опасными насекомыми-вредителями во многих регионах являются крестоцветные

блошки, рапсовый цветоед, долгоносики, жуки, тля, стручковая мошка, капустная моль, капустная корневая муха. Повреждение ими является главенствующим фактором, снижающим урожайность масличного рапса. Надо признать, что без борьбы с вредителями аграриям обойтись невозможно, равно и то, что и без пчел и других опылителей нельзя получить урожай.

Комплекс агротехнических мероприятий по борьбе с вредителями рапса, предусматривающий соблюдение севооборотов, обработку почвы, использование устойчивых сортов и т. д., на сегодняшний день, на наш взгляд, неэффективен. К сожалению, успех борьбы пока в значительной степени зависит от применяемых химических средств борьбы (инсектицидов) [3].

Методология и методы исследования (Methods)

Проведен оценочный обзор литературы исследований российских и зарубежных авторов из баз платформ Национальной электронной библиотеки (НЭБ), eLibrary, КиберЛенинка, PubMed, RSCI, AGRIS, Web of Science.

Результаты (Results)

Сельскохозяйственная практика показывает, что в настоящее время основную угрозу для масличного рапса во всех регионах России представляют насекомые-вредители.

За последнюю пятилетку в РФ наблюдается увеличение площадей этой культуры. В 2020 году посевная площадь рапса в нашей стране составляла 1,488 млн га. В 2024 году она выросла до 2,7 млн га, увеличившись по сравнению с 2023 годом почти на 30 % (рис. 1) [4]. Практически вся площадь рапса (2,2 млн га) подвергается защитной инсектицидной обработке.

Вредоносность насекомых в посевах рапса зависит от сложившихся климатических условий. В среднем потери урожая достигают 30–40 %. При благоприятных условиях для размножения и развития насекомых потери урожайности могут быть

100 %. Учеными выявлено в общей сложности около 50 вредителей отечественного рапса, из них 30 наносят экономический ущерб. Несмотря на это, рапс является высокомаржинальной культурой: по оценке аграриев, финансовые затраты покрываются при урожае рапса 1,5 т/га.

Результаты многолетних наблюдений показали, что растения рапса ярового в течение вегетации повреждают представители семи отрядов членистоногих: жесткокрылые или жуки (Coleoptera), – крестоцветные блошки, рапсовый цветоед, рапсовый семенной скрытнохоботник, скрытнохоботник стеблевой капустный и другие; двукрылые (Diptera) – галлица капустная; полужесткокрылые, или клопы (Hemiptera), – рапсовый клоп; перепончатокрылые (Hymenoptera) – рапсовый пилильщик; равнокрылые (Homoptera) – тля капустная; чешуекрылые (Lepidoptera) – капустная моль, капустная совка, репная белянка, капустная белянка; трипсы (Thysanoptera) (рис. 2) [5].

При возделывании рапса используют большое количество средств химической защиты от вредных объектов (сорные растения, вредители, болезни), что приводит к загрязнению окружающей среды, нарушению экологического равновесия, гибели полезных насекомых и пчел.

Сегодня на посевах рапса в России разрешены к применению 26 действующих веществ (д. в.), из которых 70 % относятся к классам пиретроидов, неоникотиноидов и фосфорорганических соединений (ФОС). Остальные 30 % д. в. – оксадиазины, ювеноиды и др. – менее распространены, но не менее важны в системе защиты рапса. Большинство препаратов опасно для пчел. Из всего перечня инсектицидов, разрешенных к применению на рапсе, существует всего несколько инсектицидов 3-го класса опасности для пчел: «Пленум», ВДГ на основе пиметрозина, «Апекс», МКЭ на основе пирпроксифена, «Медоуз», МД на основе ацетамиприда, «Пондус», КС, «Биская», МД на основе тиаклоприда, «Герольд» на основе дифлубензурана, «Гринда», РП и «Альфа-Амиприд», РП на основе ацетамиприда.

Количество только инсектицидных обработок на яровом рапсе составляет три и более. Это объясняется тем, что риск повреждений посевов сохраняется практически от всходов до конца вегетации (таблица 1). Причем препараты необходимо чередовать с разными действующими веществами во избежание появления устойчивых к действующему веществу популяций вредителей. К примеру, компания «Август» предлагает для защиты только от капустной моли (вдумайтесь!) трехкратную обработку различными инсектицидами.

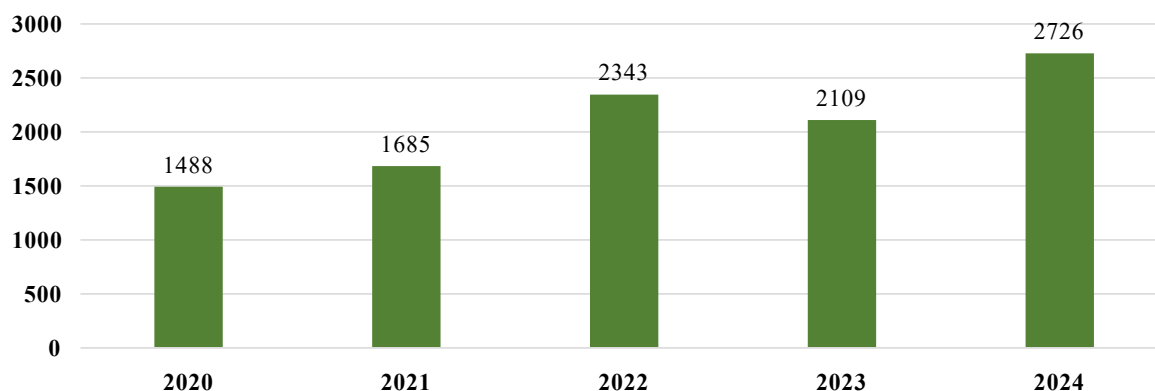


Рис. 1. Посевная площадь рапса (в том числе озимого) в РФ, тыс. га

Fig. 1. Sown area of rapeseed (including winter rapeseed) in the Russian Federation, thousand hectares

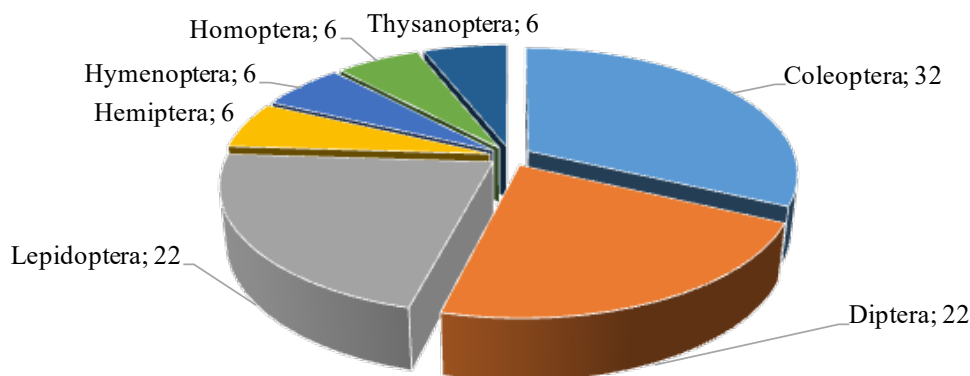


Рис. 2. Соотношение основных вредителей ярового рапса

Fig. 2. The ratio of the main pests of spring rape

Таблица 1

Время появления основных вредителей рапса

Агротехнологии	Фазы роста								
	Прорастание								
	Всходы	Крестоцветный пилильщик	Капустная моль	Рапсовая блошка					Рапсовый листоед
	Розетка								
	Ветвление				Большой рапсовый скрытнохоботник				
	Бутонизация					Рапсовый цветоед	Рапсовый семенной скрытнохоботник		
	Цветение							Стручковый капустный комарик	
	Образование стручков								
	Созревание								

Table 1

Time of appearance of the main pests of rapeseed

<i>Growth phases</i>									
<i>Germination</i>									
<i>Shoots</i>	<i>Athalia rosae</i>	<i>Plutella xylostella</i>	<i>Psylliodes chrysocephalus</i>						<i>Entomoscelis adonidis</i>
<i>Rosette</i>									
<i>Branching</i>				<i>Ceutorhynchus napi</i>					
<i>Budding</i>					<i>Meligethes aeneus</i>	<i>Ceutorhynchus assimilis</i>			
<i>Bloom</i>							<i>Dasineura brassicae</i>		
<i>Formation of pods</i>									
<i>Maturation</i>									

Согласно «Государственному каталогу пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» (по состоянию на 14 мая 2024 года) [6] на яровом рапсе разрешено к использованию 120 инсектицидов и 19 протравителей инсектицидного действия. Большинство препаратов (80,8 %) являются высокоопасными для пчел (I класс опасности), и только 15 % малоопасны (рис. 3).

На сегодняшний день в РФ наиболее распространенными классами химических веществ, применяемых для борьбы с вредителями рапса, являются синтетические пиретроиды, неоникотиноиды и фосфорорганические соединения (ФОС). Среди прочих классов присутствуют оксадиазины, бензоилмочевины, диамиды и пиридин-азометины. Давайте кратко поговорим о каждой группе.

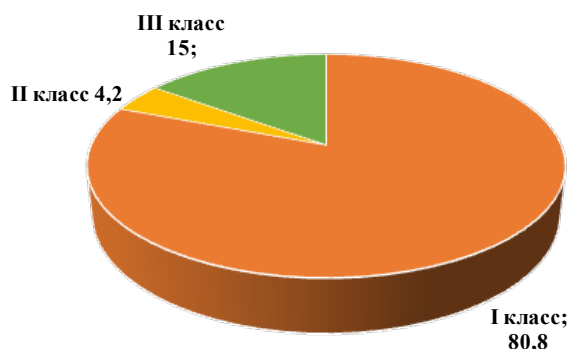


Рис. 3. Структура инсектицидов для рапса по классу опасности для пчел

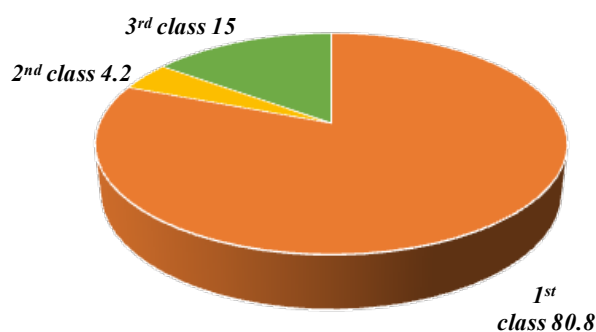


Fig. 3. Structure of insecticides for rapeseed according to hazard class for bees

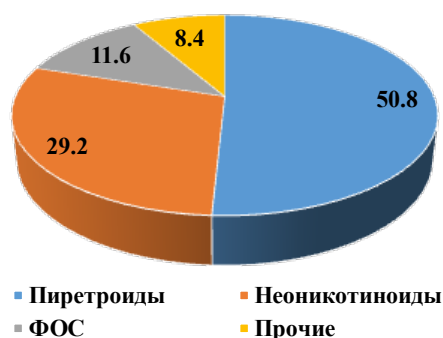


Рис. 4. Структура классов химических веществ инсектицидов, применяемых на яровом рапсе

Практически 50 % применяемых на рапсе химикатов составляют пиретроиды – это группа инсектицидов, синтетических аналогов природных пиретринов (рис. 4). В отличие от пиретринов синтетические пиретроиды не разлагаются на свету, малорастворимы в воде. Современные пиретроиды – это, как правило, препараты III поколения: перметрин, циперметрин и его изомеры (альфаметрин и зета-циперметрин, бета-циперметрин), сумицидин (фенвалерат и его изомер эсфенвалерат), бифентрин, цигалотрин и его изомер лямбда-цигалотрин, цифлутрин и т. д., обладающие высокой инсектицидной активностью и более фотоустойчивы, чем пиретроиды I и II поколений [7].

В организм насекомых и клещей пиретроиды попадают при непосредственном контакте или с потреблением пищи. Для насекомых это нейротоксические яды. А вот для теплокровных и человека пиретроиды не так опасны в отличие от инсектицидов других химических классов. Исключение из правил составляет дельтаметрин. О его влиянии на организм человека – чуть ниже.

Несмотря на кажущуюся экологическую безопасность, следует не допускать попадания этих веществ в водоемы, поскольку они очень опасны для рыб и водных беспозвоночных. Следует не забывать, что пиретроиды опасны не только для вредных, но и для полезных насекомых, в том числе пчел [8].

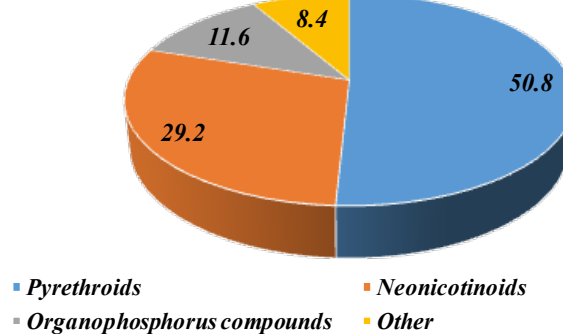


Fig. 4. Structure of classes of chemical substances of insecticides used on spring rape

Длительное применение синтетических пиретроидов вызывает у насекомых приобретенную устойчивость (групповую и перекрестную). Уровень резистентности может достигать 10 000, что означает, что для уничтожения резистентных по отношению к какому-нибудь инсектицидному веществу вредителей нужно использовать в 10 000 больше вещества в сравнении с обычными насекомыми.

Чтобы исключить у насекомых устойчивость к пиретроидам, препараты данной группы рекомендуется использовать лишь один раз за вегетацию. Перекрестная резистентность внутри группы не отмечается, с другими группами она отсутствует благодаря различным механизмам действия. Для снижения риска возникновения резистентности применяют комбинации препаратов из разных классов.

Неоникотиноиды представляют собой вторую по численности группу химических соединений (29,2 %), на основе которых созданы инсектициды нового поколения. В «Государственном каталоге...» этому классу принадлежат 35 препаратов, используемых на посевах рапса, состоящих из пяти действующих веществ: ацетамиприда, имидаклоприда, клотианидина, тиаклоприда и тиаметоксама. Необходимость применения неоникотиноидов возникла в ответ на развитие резистентности к синтетическим пиретроидам и фосфорорганическим соединениям. По своей структуре они напоминают природный инсектицид никотин, содержащийся в табаке.

Тиаклоприд представляет опасность для рыб, в то время как ацетамиприд, имидаклоприд и тиаклоприд опасны для птиц. Нитрозосодержащие неоникотиноиды крайне опасны для пчел, а циансодержащие – умеренно. При соблюдении регламента применения неоникотиноиды не проникают через кожные покровы, максимум, что может быть, это умеренное раздражение глаз. Есть неподтвержденные сведения о канцерогенности тиаметоксама и тиаклоприда.

Отравление в быту неоникотиноидами не редкость, хотя их токсичность более выражена при пероральном поступлении, чем при ингаляционном. В этой связи вспоминается недавний (сентябрь 2024 года) нашумевший в СМИ трагический случай с семьей из Красноярского края, где погибли четверо детей, надышавшись парами дихлофоса. Правда, в том случае класс химического вещества был другой. Известно, что в высоких дозах имидаклоприд, являясь структурным аналогом никотина, активизирует центральную нервную систему, что может вызывать тремор, проблемы со зрачками и гипотермию. В работах Л. К. Геруновой с соавторами выявлены морфологические изменения в щитовидной железе крыс при острой интоксикации моспиланом [9].

Фосфорорганические соединения (ФОС) представляют собой немногочисленную группу (11,6 %) химических веществ, применяемых на рапсе. Эти вещества основаны на пятивалентном фосфоре. Данные соединения используются на протяжении длительного времени в лесном и сельском хозяйстве, а также в животноводстве и быту, ворвавшись в сельскохозяйственное производство в 1965 году, заменив хлорсодержащие яды, такие как ДДТ и гексахлоран.

ФОС действуют как нервно-паралитические яды: при их воздействии у насекомых мышцы судорожно сокращаются, что приводит к параличу. На яйца насекомых ФОС оказывают слабое действие, в основном поражая взрослых особей, их нимф и личинок. При систематическом использовании против многопоточных вредителей быстро развивается устойчивость, что требует разнообразия инсектицидов.

Для окружающей природы ФОС не представляют значительной угрозы, так как разлагаются на нетоксичные соединения в течение месяца; исключение составляет хлорпирифос, который сохраняет свою активность в почве до двух лет и способен накапливаться в экосистеме. По токсичности паратион-метил, диазинон и хлорпирифос классифицируются как высокотоксичные, в то время как остальные вещества варьируются от средней до низкой токсичности. В водной среде ФОС нестабильны, но их токсичное действие может проявляться до полного распада.

Согласно критериям пероральной токсичности, такие вещества, как паратион-метил, диазинон, хлорпирифос и фозалон, классифицируются как высокотоксичные; в то время как пирифос-метил определяется как малотоксичное соединение. Остальные препараты, включая фенитротрион, малатион и диметоат, относятся к категории среднетоксичных [10].

Фосфорорганические инсектициды обладают низкой стабильностью в водной среде. Однако даже случайное попадание этих химикатов в водоемы, такие как реки и озера, может привести к токсическому воздействию на водные организмы до их полного распада. К примеру, диэтилдитиофосфат (DEDTP) – метаболит, образующийся в результате распада фосфорорганических пестицидов, – долгое время считался безвредным. Однако некоторые исследования выявили его токсичность для клеток человека. Результаты исследований предполагают, что DEDTP обладает генотоксичностью и иммунотоксичностью, несмотря на свою стабильность [11].

Механизм действия современных пестицидов, которые активно используют аграрии в процессе возделывания сельскохозяйственных культур, довольно сложный и требует детального анализа для уменьшения негативного воздействия на экологию и здоровье людей. На сегодняшний день существует большое количество исследований, посвященных тому, как пестициды взаимодействуют с человеческим организмом [12; 13]. Действующие вещества могут попадать в организм через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт и кожные покровы. В главной железе человека – печени, где протекает около 500 биохимических процессов, – пиретроиды подвергаются процессам окисления и гидролиза, в результате чего образуются глюкуронаты. Острые отравления пиретроидами наиболее часто проявляются такими симптомами, как головные боли, жжение и зуд кожи лица, головокружение, общая слабость и повышение температуры тела в первые 2–3 дня [14–16].

Экспериментальные исследования на животных подтвердили, что острое отравление дельтаметрином (класс пиретроидов) приводит к усилению секреции глюкокортикоидов и повышению уровня сахара в крови на фоне инсулиновой резистентности. Исследования Е. А. Chigrinski (2017) показали нарушения в синтезе кортикостероидов у надпочечников крыс, подвергшихся воздействию высоких доз дельтаметрина, что свидетельствует о стрессовых реакциях у животных при контакте с синтетическими пиретроидами [17].

Синтетические пиретроиды негативно влияют на репродуктивные способности организма. Это связывается с нарушением работы антиоксидантной системы в половых железах. Дельтаметрин уменьшает уровень глутатиона и препятствует

нормальной активности глутатионзависимых ферментов, что приводит к окислительному стрессу в семенниках крыс [18; 19].

Максимальная концентрация неоникотиноидов обнаруживается в печени и почках, что приводит к увеличению массы печени и активности ферментов. Симптомы острого отравления включают сонливость, дезориентацию, головокружение, а также желудочно-пищеводные эрозии и гастрит. При отравлении имидаклопридом и тиаклопридом наблюдается атония кишечника, выражающаяся в отсутствии дефекации в течение суток. Острые случаи приводят к нейротоксичности, иммунотоксичности, гепатотоксичности, нефротоксичности и репродуктивному цитотоксическому эффекту.

При отравлениях инсектицидами, содержащими имидаклоприд и тиаклоприд (неоникотиноиды), патоморфолог прежде всего фиксирует расстройства сосудистой системы, сопутствующие дистрофическим изменениям в паренхиматозных органах. При интоксикации имидаклопридом отмечается развитие гидропической дистрофии печени и почек, а также кардиомиоцитов; при отравлении тиаклопридом наблюдаются зернистая дистрофия, инфильтрация мононуклеарами и увеличение соединительной ткани в органах. У птиц эти препараты приводят к расширению зоба и жировому гепатозу печени [20].

A. Anadon подчеркивает негативное влияние неоникотиноидов на репродуктивную систему самцов и акцентирует внимание на потенциальной генетической опасности, рекомендуя соблюдать меры предосторожности при работе с ними. Согласно исследованиям T. Green, тиаметоксам может относиться к возможным канцерогенам для человека из-за увеличения случаев гепатоцеллюлярной аденомы и карциномы у животных. Недаром в странах ЕС введен запрет на некоторую часть пестицидов с доказанными свойствами эндокринных разрушителей [21].

Недостатки неоникотиноидов, таких как имидаклоприд и тиаклоприд, становятся все более очевидными не только с точки зрения токсичности для животных, но и в отношении воздействия на экосистему в целом. Исследования показывают, что данные инсектициды могут негативно влиять на популяции пчел, ухудшая их способности к опылению, что, в свою очередь, грозит серьезными последствиями для сельского хозяйства. Уменьшение численности опылителей ведет к снижению урожайности многих культур, что подрывает продовольственную безопасность [22].

Пестициды, классифицируемые как фосфорорганические соединения (ФОС) и выступающие в роли ингибиторов холинэстеразы, обладают выраженной токсичностью. В последние 20 лет исследования структуры пестицидов показали, что около 80 % случаев серьезного отравления, приводящих

к критическим нарушениям в организме и требующих неотложной медицинской помощи, связаны именно с ФОС (65 %). В 15 % случаев установить конкретный вид пестицида не представляется возможным.

Человек может подвергаться воздействию ФОС через дыхательные пути, пищеварительный тракт и кожные покровы. Эти химические соединения оказывают нейротоксическое и психотропное воздействие. Отравление ФОС проходит три стадии: первая характеризуется психомоторным возбуждением, дискомфортом в грудной клетке, одышкой и хрипами, а также повышением потоотделения и артериального давления; вторая стадия проявляется кратковременными судорогами, затруднением дыхания, редким пульсом, диареей и частыми позывами к мочеиспусканию; третья стадия – это серьезные нарушения в работе дыхательного центра, паралич конечностей, снижение артериального давления и аритмия. Также зарегистрированы случаи аллергического дерматита и астматического бронхита, что указывает на влияние ФОС на белковые группы [23; 24].

Все эти и другие многочисленные факты, свидетельствующие о токсичном влиянии на благополучие человека химических средств защиты растений, привели к тому, что Европейский парламент поддержал проект Еврокомиссии «От фермы до вилки», предусматривающий к 2030 году значительное ограничение использования пестицидов, микропрепаратов и удобрений (в том числе и навоза) [25].

Приведенные выше примеры последствий воздействия инсектицидов на экологию и ее обитателей заставляют задуматься об альтернативном пути по защите культур от вредных насекомых, т. е. о биологизации земледелия. И она существует – биологическая защита. Биологические инсектициды представляют собой альтернативу химическим средствам борьбы с вредителями, их преимущество заключается в экологической безопасности и способе действия. Во-первых, биологические инсектициды основаны на натуральных организмах или их метаболитах, что снижает риск загрязнения окружающей среды и наносит минимальный вред полезным насекомым и экосистеме в целом. Во-вторых, многие биологические инсектициды действуют целенаправленно на определенные виды вредителей, что уменьшает вероятность появления резистентности к средствам защиты растений. Например, бактерия *Bacillus thuringiensis* активна только против определенного спектра насекомых, таких как гусеницы, и не затрагивает других позвоночных или беспозвоночных [26].

Кроме того, биологические инсектициды часто обладают длительным остаточным действием, что позволяет минимизировать частоту обработки.

Они также могут способствовать улучшению здоровья почвы и качеству продукции, что важно для устойчивого сельского хозяйства. Все эти факторы делают биологические инсектициды эффективным и безопасным инструментом в борьбе с вредителями [27; 28].

Отечественные и зарубежные ученые проводят исследования по использованию в защите растений от вредных объектов биологических методов: в частности, привлечение энтомофагов, создание микробиологических препаратов, использование репеллентов и биопестицидов [29–31]. Рядом исследований, в частности Омским аграрным научным центром (Омск, 2023 год), а также ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта» (Краснодар, 2019–2021 годы), доказано положительное влияние на регуляцию численности вредителей рапса биопестицидов, не уступающих по эффективности традиционным химическим средствам (инсектицидам).

Растений, которые можно использовать в качестве сырья для создания биопестицидов, в природе немало. Вот пример немногих из них: чеснок (*Allium sativum*), лук (*allium cepa*), сельдерей (*Apium graveolens*), хрен (*Armoracia rusticana*), горький перец (*Capsicum annuum*), базилик (*Ocimum basilicum*), горчица (*Brassica juncea*), фенхель (*Foeniculum vulgare*), укроп (*Anethum*), петрушка (*Petroselinum crispum*), тмин (*Carum carvi*), бархатцы (*Tagetis erecta*), календула (*Calendula officinalis*), хризантемы (*Chrysanthemum* sp.), маттиола (*Matthiola incana*), настурция (*Tropaeolum majus*), петуния (*Petunia parviflora*), пеларгония (*Perlargonium* sp.), любисток (*Levisticum officinale*), шалфей (*Salvia* spp.), полынь (*Artemisia* sp.), чистотел (*Chelidonium majus*), бузина (*Sambucus* sp.), пижма (*Tanacetum* sp.), табак (*Nicotina tabacum*), тысячелистник (*Achillea millefolium*) и другие. По мнению некоторых авторов, использование этих растений не исключает поиска перспективных видов других семейств, эфирные масла которых будут обладать выраженным инсектицидным действием и проявлять репеллентный эффект. На их основе возможно создание комплексных препаратов для защиты растений.

К. Г. Ткаченко и Е. А. Варфоломеева провели исследования по идентификации и выделению фитостероидов из растений семейства сложноцветных (*Compositae*), эфирные масла из которых являются более дешевым продуктом. Растения ряда семейств (*Compositae*, *Lamiaceae*, *Lauraceae*, *Umbrelliferae*, *Zingiberaceae*) являются объектами пристального внимания и могут быть перспективными для получения эфирных масел с выраженными репеллентными и/или инсектицидными свойствами [32].

Учеными М. И. Болдыревым, С. А. Колесниковым и С. А. Болдыревой разработан репеллентный препарат «Тополь-Б1», рабочая жидкость которого представляет собой 1-процентную водно-спиртовую эмульсию пчелиного прополиса с четко выраженным запахом почек тополя бальзамического. Продолжительность его действия – 8 суток. Проведенные испытания репеллента на ягодных и овощных культурах показали, что «Тополь-Б1» эффективен против таких вредителей, как малинно-земляничный долгоносик, розанная муха, розанная и жимолостная узкотелые златки, шиповниковый семяед, капустная белянка и колорадский жук. Эффективность «Тополя-Б1» против малинно-земляничного долгоносика была на уровне 92–100 %, листоеда – 73,5–85,9 %, бронзовки и оленки мохнатой – 100 %, колорадского жука – 98 %. По своей эффективности препарат «Тополь-Б1» превзошел химические. При этом цветущие растения, обработанные репеллентным препаратом, охотнее посещают пчелы [33].

Исследования, проведенные О. А. Криченко, М. Н. Шороховым и О. В. Долженко в условиях Ленинградской (2020 год) и Нижегородской (2021 год) областей по установлению биологической эффективности биологического инсектицида «Биослип БВ, Ж» (*Beauveria bassiana* – энтомопатогенный гриб) на рапсе яровом против опасного вредителя капустной моли (*Plutella xylostella* Curt.), выявили, что биологическая эффективность биоинсектицида «Биослип БВ, Ж» в зависимости от концентрации варьировала от 42–68 % до 55–76 % [34].

Сравнение эффективности биологических и химических инсектицидов проводится практически в каждом регионе. Ученые не скрывают, что биологические инсектициды уступают по некоторым позициям химическим препаратам: к примеру, по прибавке урожая, скорости достижения эффекта от применения. Но все эти недостатки перекрываются огромными плюсами от их применения: они дешевле и не вредят экологии [35].

Экспериментами К. С. Байбусенова по разработке экологизированной системы защиты рапса от капустной белянки (*Pieris brassicae* L.), крестоцветной блошки (*Phyllotreta* spp.), крестоцветного клопа (*Eurydema* spp.), капустной моли (*Plutella xylostella* L.) установлено, что стимулятор роста, жидкие удобрения и биопрепарат способствовали развитию и усилению иммунной системы растений рапса, что позволило минимизировать применение на посевах химических средств защиты. Рассчитанный уровень рентабельности при такой экологизированной системе защиты рапса не уступал контрольному варианту [36].

В исследовании Р. Сафиоллина, подтвержденном данными стационарного полевого эксперимента, рассматривается потенциал широкого использова-

ния современных биопрепаратов с инсектицидными свойствами для защиты ярового рапса от вредных насекомых, таких как крестоцветная блошка, капустная моль, рапсовый пилильщик, цветоед и скрытнохоботник. Установлено, что обработка семян инсектобактом (1 л/т семян) в сочетании с питательным раствором «Нодикс Премиум» (0,3 л/т) по своей эффективности в борьбе с крестоцветными блошками сравнима с химической протравкой «Круйзер Рапс» (15 л/т). Применение этих биопрепаратов также значительно снижает химическую нагрузку на окружающую среду в борьбе с другими вредителями во время вегетации растений. Вышеперечисленные примеры показывают, что биологические инсектициды по своей эффективности не уступают химическим средствам защиты [37].

Помимо биопестицидов, созданных на основе продуктов жизнедеятельности бактерий, грибов и других микроорганизмов, для защиты от насекомых существуют средства на основе природных репеллентов – эфирных масел, отпугивающих насекомых. В качестве репеллента обычно рекомендуют и применяют эфирные масла лаванды (*Lavandula angustifolia* Mill.), гвоздики (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L. M. Perry), мяты перечной (*Mentha × piperita* L.), кедра (*Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don), кипариса (*Cupressus* sp.), эвкалипта (*Eucalyptus* sp.), мелиссы (*Melissa officinalis* L.), туи (*Thuja* sp.), ромашки (*Matricaria chamomilla* L.), аниса (*Pimpinella anisum* L.) и многих других видов растений [38].

Российские ученые Е. М. Мунтян, М. Г. Батко и И. Г. Язловецкий разработали препараты на основе эфирных масел, исследовали их воздействие на тепличную белокрылку. Определено, что некоторые эфирные масла, в частности сандалового дерева, лимонена, лианоолола, гераниола и карвакрола, проявляют репеллентные свойства и токсичность, зависящую от дозы и времени контакта насекомых [39].

Изучением инсектицидной активности эфирных масел различных растений в нашей стране занимается Ботанический институт им. В. Л. Комарова (БИН РАН).

Помимо использования эфирных масел эфиромасличных растений, другим малоизученным направлением защиты растений от насекомых является создание смешанных посадок культур с растениями, обладающими достаточными репеллентными свойствами для отпугивания насекомых-вредителей. Особенно хорошо зарекомендовали себя в этой роли различные эфиромасличные растения, у которых выработался природный иммунитет к ряду заболеваний и которые одновременно привлекают энтомофагов, сдерживая тем самым рост популяции вредных насекомых (фитофагов).

Кафедрой растениеводства и селекции УрГАУ проводятся многолетние исследования по интродукции эфиромасличных растений из местной флоры и других регионов. В посадках, окаймленных эфиромасличными растениями, с середины июля до сентября в воздухе отмечается высокое содержание эфирных масел и значительно снижается число вредных насекомых. Одновременно наблюдается рост полезных насекомых: златоглазки, жуужелицы, мухи-журчалки, семиточечной коровки и других [40].

Аналогичные результаты получены кафедрой защиты и карантина растений Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемур, где в течение 2016–2017 годов в условиях Центрального Таджикистана проводились исследования агробиоценозов с использованием арома-пряных культур (*Anethum graveolens* – укроп огородный, *Coriandrum* – кориандр, *Caléndula officinális* – календула, *Impatiens balsamina* L. – бальзамин камелия, *Ziziphora* – зизифора), которые высевались по контуру поля томатов. Результаты исследования показали, что такие растения, как укроп огородный, кориандр и зизифора, привлекали наибольшее количество энтомофагов. Соотношение численности полезных и вредных насекомых составило 67 и 33 % соответственно [41].

Опытами, проведенными Ю. В. Докуниным и Л. Ш. Сабитовой в Федеральном научном центре пчеловодства, расположенном в Рязанской области, достигнуты положительные результаты по использованию эфиромасличных растений в целях защиты рапса ярового от капустной моли. Эфиромасличные культуры высевались по краям делянки (не более 20 % площади). Выявлено, что кориандр посевной и шандра гребенчатая обладают репеллентными свойствами против капустной моли. При возделывании рапса ярового эффективными оказались краевые посевы с кориандром: биологическая эффективность составила от 46,3 до 78,7 % [42].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Являясь хорошим медоносом, яровой рапс представляет огромный интерес для медоносных пчел. Однако пестициды, которые применяются на рапсе, как показал анализ, на 4/5 представлены I–II классами опасности для пчел. Химическая обработка рапса с нарушениями регламента применения ежегодно приводит к конфликтным ситуациям между аграриями и пчеловодами из-за гибели пчел. В этой связи большое значение приобретают биологические способы защиты посевов рапса. Одним из направлений биологизации земледелия является использование растений, обладающих репеллентными свойствами. Использование растений-репеллентов в сельскохозяйственной практике может снизить количество химических обработок.

Репелленты растительного происхождения все чаще рассматриваются как эффективное средство защиты от вредителей рапса. Основная причина заключается в их абсолютной экологической безопасности и низком уровне токсичности как для человека, так и для окружающей среды. Такие вещества, как экстракты цитронеллы, мяты и лаванды, содержат соединения, которые отпугивают вредных насекомых, включая блошек и различных листоедов.

Представленные результаты показывают, что использование растений-репеллентов может быть интегрировано в систему устойчивого земледелия, что позволяет снижать зависимость от химических пестицидов. Применение экстрактов в комбинации

с традиционными агротехническими мерами создает синергетический эффект, способствующий укреплению здоровья растений и повышению их устойчивости к вредителям.

Кроме того, растительные репелленты могут улучшать биоразнообразие на полях, поддерживая популяции полезных насекомых-опылителей и хищников. Проведение дальнейших исследований в этой области могло бы раскрыть новые возможности для создания эффективных и безопасных схем защиты рапса от вредителей. Таким образом, использование растений-репеллентов представляет собой перспективное направление для устойчивого сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Таблица медопродуктивности медоносных растений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.grandexpert.ru/handbook/tablica-myodoproduktivnosti-medonosnyh-rasteniy> (дата обращения: 10.01.2025).
2. Старых А. И., Ходаков П. Е. Технологии защиты ярового рапса в условиях Тюменской области: рекомендации. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2020. 56 с.
3. Kumar S., Nehra M., Dilbaghi N., Marrazza G., Hassan A. A., Kim K.-H. Nano-based smart pesticide formulations // *Emerging Opportunities for Agriculture*. 2019. No. 294. Pp. 131–153. DOI: 10.1016/j.jconrel.2018.12.012.
4. Рынок рапса в 2023 году: тенденции и прогнозы [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/rynok-rapsa-v-2023-godu-tendencii-i-prognozy> (дата обращения: 10.01.2025).
5. Сердюк О. А., Трубина В. С., Горлова Л. А. Биологический инсектицид против насекомых-вредителей на рапсе яровом (*Brassica napus* L.) // *Сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 3 (15). С. 40–49.
6. Архив 2024 Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Министерства сельского хозяйства Российской Федерации: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2024-god> (дата обращения: 10.01.2025).
7. Ткачев А. В. Пиретроидные инсектициды – аналоги природных защитных веществ растений // *Соросовский образовательный журнал*. 2004. Т. 8. № 2. С. 56–63.
8. Bhardwaj K. Pyrethroids: a natural product for crop protection // *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture*. 2020. Pp. 113–130. DOI: 10.1007/978-981-15-3024-1_8.
9. Герунова Л. К., Гонохова М. Н., Герунов Т. В. Морфологические изменения в щитовидной железе крыс при острой интоксикации моспиланом [Электронный ресурс] // *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2022. № 3 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfologicheskie-izmeneniya-v-schitovidnoy-zheleze-krys-pri-ostroy-intoksikatsii-mospilanom> (дата обращения: 11.01.2025).
10. Фосфорорганические пестициды [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agro-sos.ru/insecticidi-fosfor> (дата обращения: 10.01.2025).
11. Medina-Buelvas D., Estrada-Muñiz E., Flores-Valadez M., Vega L. Genotoxic and immunotoxic effects of the organophosphate metabolite diethyldithiophosphate (DEDTP) in vivo // *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2019. No. 366. Pp. 96–103. DOI: 10.1016/j.taap.2019.01.023.
12. Анучина А. В. Токсическое действие пестицидов на организм человека и животных [Электронный ресурс] // *Международный студенческий научный вестник*. 2019. № 1. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19454> (дата обращения: 10.01.2025).
13. Евтеева А. А., Шеремета М. С., Пигарова Е. А. Эндокринные дисрапторы в патогенезе таких социально значимых заболеваний, как сахарный диабет, злокачественные новообразования, сердечно-сосудистые заболевания, патология репродуктивной системы // *Ожирение и метаболизм*. 2021. № 3. С. 327–335.
14. Халиков П. Х., Курбанов А. К. [и др.] Изучение цитогенетического эффекта делапона // *Universum: медицина и фармакология: электрон. научный журнал*. 2023. № 2 (96). DOI: 10.32743/UniMed.2023.96.2.14979.
15. Эльсавасани Р. А., Дельцов А. А. Влияние тиаметоксама на некоторые репродуктивные параметры взрослых самцов кроликов при изучении хронической токсичности // *Материалы международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова*. Москва, 2022. Т. 2. С. 352–355.
16. Горбенко А. Д., Морозова Я. А. [и др.] Синтетические пиретроиды и природные пиретрины: обзор // *Вестник аграрной науки*. 2024. № 5 (110). С. 3–15. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.5.3.

17. Chigrinski E. A., Gerunov T. V., Gerunova L. K., Zolin P. P. Impact of acute deltamethrin poisoning on rat adrenal glands: biochemical and pathomorphological study // International Journal of Biomedicine. 2017. No. 7 (3). Pp. 221–225. DOI: 10.21103/Article7(3)_OA12.
18. Hodoşan C. Gîrd C. et al. Pyrethrins and pyrethroids: a comprehensive review of natural occurring compounds and their synthetic derivatives [Электронный ресурс]. URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202311.0160/v1> (дата обращения 30.01.2025) DOI: 10.20944/preprints202311.0160.v1.
19. Soderlund D. M. Neurotoxicology of pyrethroid insecticides // Advances in Neurotoxicology. 2020. Vol. 4. Pp. 113–165. DOI: 10.1016/bs.ant.2019.11.002.
20. Значение пиретроидов для сельскохозяйственной деятельности. [Электронный ресурс]. URL: <https://belhp.by/info/articles/znachenie-piretroidov-dlya-selskokhozyaystvennoy-deyatelnosti> (дата обращения: 30.11.2024).
21. Тарасова Е. В. Основные направления развития законодательства ЕС в области регулирования пестицидов // Токсикологический вестник. 2020. № 3. С. 41–52. DOI: 10.36946/0869-7922-2020-3-41-52.
22. Калинникова Т. Б., Гатиятуллина А. Ф., Егорова А. В. Токсическое действие пестицидов на пчел: // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 3 (27). С. 50–57. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.3.50.57.
23. Соколова М. О., Соболев В. Е., Гончаров Н. В. Гистологические и ультраструктурные изменения в почках крыс на ранних сроках после отравления параоксоном // Токсикологический вестник. 2022. Т. 30, № 4. С. 231–237. DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-4-231-237.
24. Ширяев С. Д., Лобанов А. В. Химико-токсикологическая характеристика фосфорорганических соединений // Химическая безопасность. 2023. Т. 7, № 1. С. 48–58. DOI: 10.25514/CHS.2023.1.24004.
25. Берило С. ЕС намерен к 2030 году сократить применение пестицидов в два раза [Электронный ресурс]. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/es-nameren-k-2030-godu-sokratit-primenenie-pesticidov-v-dva-raza> (дата обращения: 10.01.2025).
26. Барыло Б. О., Рзаева В.В. Влияние элементов биологизации на урожайность ярового рапса // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 3. С. 176–180. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-3-1-176-180.
27. Lybrand D. B. Lybrand D. B., Xu H., Last R., Pichersky E. How plants synthesize pyrethrins: safe and biodegradable insecticides // Trends in Plant Science. 2020. No. 12. Pp. 1240–1251. DOI: 10.1016/j.tplants.2020.06.012.
28. Oguh C. E., Okpaka C. O., Ubani C. S., Okekeaji U., Joseph P. S., Amadi E. U. Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management-a critical review [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/338165822_Natural_Pesticides_Biopesticides_and_Uses_in_Pest_Management-A_Critical_Review (дата обращения 12.01.2025).
29. Биологический метод защиты рапса [Электронный ресурс]. URL: <https://direct.farm/post/biopreparaty-dlya-zashchity-rapsa-stanovyatsya-effektivnye-27022> (дата обращения: 22.11.2024).
30. Коломиец Н. Э., Шплис О.Н. Виды рода *Agastache* J. Clayton ex Gronov.: распространение, применение, степень изученности (обзор) // Химия растительного сырья. 2022. Издание 4. С. 5–26. DOI: 10.14258/jcrpm.20220411043.
31. Власов С. С. Альтернативные методы борьбы с вредителями и болезнями рапса // Перспективы развития науки в современном мире: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Уфа, 2019. С. 64–68.
32. Ткаченко К. Г., Варфоломеева Е. А. Эфирные масла – репелленты и/или инсектициды. Перспективы использования для защиты растений // Инновационное развитие экономики. Материалы второго Крымского инновационного форума. Симферополь. 2020. С. 109–114.
33. Болдырев М. И. Новый репеллент «Тополь-Б1» // Защита и карантин растений. 2012. № 3. С. 27–28.
34. Кривченко О. А., Шорохов М. Н., Долженко О. Д. Биологическая защита рапса ярового от капустной моли // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (70). С. 51–58. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-51-58.
35. Догадина М. А., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. Вызовы и тренды рынка биопестицидов // Вестник аграрной науки. 2024. № 2 (107). С. 40–48. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40.
36. Байбусенов К. С. Экологизированные системы защиты рапса от основных насекомых-вредителей для снижения риска природному биоразнообразию // Сохранение биологического разнообразия и развитие сети особо охраняемых природных территорий: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной юбилею почетного профессора Костанайского государственного педагогического института, доктора биологических наук Т. М. Брагиной. Костанай, 2024. С. 194–200.
37. Сафиоллин Р. В. Биологические системы защиты ярового рапса от вредителей – перспективное направление увеличения объемов производства экологически безопасного и конкурентоспособного мас-

личного сырья в Республике Татарстан // Сборник статей Международного учебно-исследовательского конкурса в 6 частях. Петрозаводск, 2021. Часть 2. С. 366–375.

38. Комаров Е. В., Комарова О.П. Управление энтомокомплексами сельскохозяйственных культур при орошении // Известия НВ АУК. 2022. № 2 (66). С. 111–118. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-13.

39. Степанычева Е. А., Петрова М. О., Черменская Т. Д. О влиянии эфирного масла *Litsea cubeba* (Lour.) Pers. и его основного компонента на развитие оранжевой белокрылки *Trialeurodes vaporariorum* Westw. // Сельскохозяйственная биология. 2022. № 1. С. 193–201. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.193rus

40. Чулкова В. В., Чапалда Т. Л., Пояркова Н. М. Растения-репелленты // От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение производства и переработки продукции растениеводства: сборник материалов международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2020. С. 102–104.

41. Уроков Ф. П. Агроценозы нектароносных растений и энтомофагов в Гиссарской долине Таджикистана // Кишоварз. 2019. № 2. С. 79–81.

42. Докукин Ю. В., Сабитова Л.Ш. Использование эфиромасличных растений в целях защиты рапса ярового от вредителей и повышения его продуктивности // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 27–30.

Об авторах:

Максим Анатольевич Пазин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии, Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого, Кемерово, Россия; ORCID 0009-0003-2588-5335, AuthorID 1011501. E-mail: mister.pazin@mail.ru

Антон Владимирович Пьяных, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии и агроэкологии, Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкого, Кемерово, Россия; ORCID 0009-0000-8395-2485, AuthorID 961332. E-mail: anton.pyanih2014@yandex.ru

References

1. Table of honey productivity of honey plants [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://www.grand.expert.ru/handbook/tablica-myodoproduktivnosti-medonosnyh-rasteniy>. (In Russ.)

2. Starykh A. I., Khodakov P. E. *Technologies for protecting bright rapeseed in the conditions of the Tyumen region: recommendations*. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2020. 56 p. (In Russ.)

3. Kumar S., Nehra M., Dilbaghi N., Marrazza G., Hassan A. A., Kim K.-H. Nano-based smart pesticide formulations. *Emerging opportunities for agriculture*. 2019; 294: 131–153. DOI: 10.1016/j.jconrel.2018.12.012.

4. Rapeseed market in 2023: trends and forecasts [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://ab-centre.ru/news/rynok-rapsa-v-2023-godu-tendencii-i-prognozy>. (In Russ.)

5. Serdyuk O. A., Trubina V. S., Gorlova L. A. Biological insecticide against insect pests on spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agricultural Journal*. 2022; 3 (15): 40–49. (In Russ.)

6. Ministry of Agriculture of the Russian Federation: official website [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2024-god>. (In Russ.)

7. Tkachev A. V. Pyrethroids – analogues of natural protective compounds of plant origin. *Soros Educational Journal*. 2004; 8 (2): 56–63. (In Russ.)

8. Bhardwaj K. Pyrethroids: a natural product for crop protection. *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture*. 2020: 113–130. DOI: 10.1007/978-981-15-3024-1_8.

9. Gerunova L. K., Gonokhova M. N., Gerunov T. V. Morphological changes in the thyroid gland of rats during acute intoxication with mospilan. *Electronic Scientific and Methodological Journal of Omsk State Agrarian University* [Internet] [cited 2025 Jan 11]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfologicheskie-izmeneniya-v-schitovidnoy-zheleze-krysa-pri-ostroy-intoksikatsii-mospilanom>. (In Russ.)

10. *Organophosphorus pesticides* [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://www.agro-sos.ru/insecticidi-fosfor>. (In Russ.)

11. Medina-Buelvas D., Estrada-Muñiz E., Flores-Valadez M., Vega L. Genotoxic and immunotoxic effects of the organophosphate metabolite diethyldithiophosphate (DEDTP) in vivo. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2019; 366: 96–103. DOI: 10.1016/j.taap.2019.01.023.

12. Anuchina A. V. Toxic effect of pesticides on the human body and animals [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19454>. (In Russ.)

13. Evteeva A. A., Sheremeta M. S., Pigarova E. A. Endocrine disruptors in the pathogenesis of socially significant diseases such as diabetes mellitus, malignant neoplasms, cardiovascular diseases, pathology of the reproductive system. *Obesity and Metabolism*. 2021; 3: 327–335. (In Russ.)

14. Khalikov P. Kh., Kurbanov A. K., et al. Study of the cytogenetic effect of delapone. *Universum: Medicine and Pharmacology: Electronic Scientific Journal*. 2023; 2 (96). DOI: 10.32743/UniMed.2023.96.2.14979. (In Russ.)
15. Elsavasani R. A., Deltsov A. A. The effect of thiamethoxam on some reproductive parameters of adult male rabbits in the study of chronic toxicity. *Proceedings of the International scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 135th anniversary of the birth of A. N. Kostyakov*. Moscow, 2022; 2: 352–355. (In Russ.)
16. Gorbenko A. D., Morozova Ya. A., et al. Synthetic pyrethroids and natural pyrethrins: a review. *Bulletin of Agrarian Science*. 2024; 5 (110): 3–15. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.5.3. (In Russ.)
17. Chigrinskiy E. A., Gerunov T. V., Gerunova L. K., Zolin P. P. Impact of acute deltamethrin poisoning on rat adrenal glands: biochemical and pathomorphological study. *International Journal of Biomedicine*. 2017; 7 (3): 221–225. DOI: 10.21103/Article7(3)_OA12.
18. Hodoşan C. Pyrethrins and pyrethroids: a comprehensive review of natural occurring compounds and their synthetic derivatives [Internet] [cited 2025 Jan 30]. Available from: <https://www.preprints.org/manuscript/202311.0160/v1>. DOI: 10.20944/preprints202311.0160.v1.
19. Soderlund D. M. Neurotoxicology of pyrethroid insecticides. *Advances in Neurotoxicology*. 2020; 4: 113–165. DOI: 10.1016/bs.ant.2019.11.002.
20. *The importance of pyrethroids for agricultural activities* [Internet] [cited 2025 Jan 30]. Available from: <https://belhp.by/info/articles/znachenie-piretroidov-dlya-selskokhozyaystvennoy-deyatelnosti>. (In Russ.)
21. Tarasova E. V. Main directions of development of EU legislation in the field of pesticide regulation. *Toxicological Bulletin*. 2020; 3: 41–52. DOI: 10.36946/0869-7922-2020-3-41-52. (In Russ.)
22. Kalinnikova T. B., Gatiyatullina A. F., Egorova A. V. Toxic effect of pesticides on bees: a review. *Russian Journal of Applied Ecology*. 2021; 3 (27): 50–57. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.3.50.57. (In Russ.)
23. Sokolova M. O., Sobolev V. E., Goncharov N. V. Histological and ultrastructural changes in the kidneys of rats in the early stages after paraoxon poisoning. *Toxicological Bulletin*. 2022; 4: 231–237. DOI: 10.47470/0869-7922-2022-30-4-231-237. (In Russ.)
24. Shiryaev S. D., Lobanov A. V. Chemical and toxicological characteristics of organophosphorus compounds. *Chemical Safety Science*. 2023; 7 (1): 48–58. DOI: 10.25514/CHS.2023.1.24004. (In Russ.)
25. Berilo S. *The EU intends to halve the use of pesticides by 2030* [Internet] [cited 2025 Jan 10]. Available from: <https://vetandlife.ru/sobytiya/es-nameren-k-2030-godu-sokratit-primenenie-pesticidov-v-dva-raza>. (In Russ.)
26. Barylo B. O., Rzayeva V. V. Influence of biologization elements on yield of spring rape. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2023; 3: 176–180. DOI: 10.24412/2500-1000-2023-3-1-176-180. (In Russ.)
27. Lybrand D. B., Xu H., Last R., Pichersky E. How plants synthesize pyrethrins: safe and biodegradable insecticides. *Trends in Plant Science*. 2020; 12: 1240–1251. DOI: 10.1016/j.tplants.2020.06.012.
28. Oguh C. E., Okpaka C. O., Ubani C. S., Okekeaji U., Joseph P. S., Amadi E. U. *Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management – a critical review* [Internet] [cited 2025 Jan 12]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/338165822_Natural_Pesticides_Biopesticides_and_Uses_in_Pest_Management-A_Critical_Review.
29. *Biological method of rapeseed protection* [Internet] [cited 2025 Nov 10]. Available from: <https://direct.farm/post/biopreparaty-dlya-zashchity-rapsa-stanovyatsya-effektivneye-27022>. (In Russ.)
30. Kolomiets N. E., Shplis O. N. Species of the genus *Agastache* J. Clayton ex Gronov.: distribution, use, degree of knowledge (review). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2022; 4: 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.20220411043. (In Russ.)
31. Vlasov S. S. Alternative methods of pest and disease control in rape. *Prospects for the development of science in the modern world: a collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference*. Ufa. 2019. Pp. 64–68. (In Russ.)
32. Tkachenko K. G., Varfolomeeva E. A. Essential oils – repellents and/or insecticides. Prospects for use in plant protection. *Innovative development of the economy. Materials of the second Crimean innovation forum*. Simferopol, 2020: 109–114. (In Russ.)
33. Boldyrev M. I. New repellent poplar-B1. *Plant Protection and Quarantine*. 2012; 3: 27–28. (In Russ.)
34. Krivchenko O. A., Shorokhov M. N., Dolzhenko O. D. Biological protection of spring rapeseed from cabbage moth. *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2023; 1 (70): 51–58. DOI: 10.24412/2078-1318-2023-1-51-58. (In Russ.)
35. Dogadina M. A., Pravdyuk A. I., Krivorotova E. I. Challenges and trends of the biopesticide market. *Bulletin of Agricultural Science*. 2024; 2 (107): 40–48. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40. (In Russ.)

36. Baybusenov K. S. Ecologized rapeseed protection systems from major insect pests to reduce the risk to natural biodiversity. *Conservation of biological diversity and development of a network of specially protected natural territories: proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the anniversary of the Honorary Professor of Kostanay State Pedagogical Institute, Doctor of Biological Sciences T. M. Bragina*. Kostanay, 2024. Pp. 194–200. (In Russ.)
37. Safiollin R. V. Biological systems for protecting spring rapeseed from pests – a promising direction for increasing the production of environmentally friendly and competitive oilseed raw materials in the Republic of Tatarstan. *Collection of articles of the International educational and research competition in 6 parts*. Petrozavodsk, 2021. Part 2. Pp. 366–375. (In Russ.)
38. Komarov E. V., Komarova O. P. Management of entomocomplexes of agricultural crops under irrigation. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022; 2 (66): 111–118. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-13. (In Russ.)
39. Stepanycheva E. A., Petrova M. O., Chermenskaya T. D. On the influence of Litseacubeba (Lour.) Pers. essential oil and its main component on the development of the greenhouse whitefly *Trialeurodes Vaporariorum* westw. *Agricultural Biology*. 2022; 1: 193–201. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.193rus (In Russ.)
40. Chulkova V. V., Chapalda T. L., Poyarkova N. M. Repellent plants. *From inertia to development: scientific and innovative support for the production and processing of plant products: collection of materials from the international scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2020. Pp. 102–104. (In Russ.)
41. Urokov F. P. Agrocenoses of nectar-bearing plants and entomophages in the Hissar Valley of Tajikistan. *Kishovarz*. 2019; 2: 79–81. (In Russ.)
42. Dokukin Yu. V., Sabitova L. Sh. Use of essential oil plants to protect spring rape from pests and increase its productivity. *Current Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products*. 2021; 23: 27–30. (In Russ.)

Authors' information:

Maksim A. Pazin, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of agronomy and agroecology, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Kemerovo, Russia;
ORCID 0009-0003-2588-5335, AuthorID 1011501. E-mail: mister.pazin@mail.ru

Anton V. Pyanykh, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of agronomy and agroecology, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Kemerovo, Russia;
ORCID 0009-0000-8395-2485, AuthorID 961332. E-mail: anton.pyanikh2014@yandex.ru

Биодоступность нутриентов рационов приматов на основе люпина белого

Н. В. Гапонов

Всероссийский НИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский,
Брянская область, Россия

E-mail: nv.1000@bk.ru

Аннотация. Цель – изучить биохимический состав белого люпина (*Lupinus albus* L.) сорта Дега и провести сравнительный анализ с основными культурами семейства бобовых (*Fabaceae*) как источников с высоким содержанием растительного протеина. **Методы исследования.** В статье поднимается актуальный вопрос применения альтернативного источника протеина из белого люпина (*Lupinus albus* L.) с высокой биологической ценностью для кормления приматов (*Macaca mulatta*) в современных экономических условиях. **Научная новизна** заключается в том, что белый люпин благодаря своим питательным свойствам и в сочетании с другими ингредиентами комбикорма способствует созданию высококачественного корма, эффективному преобразованию питательных веществ и улучшению экономических результатов при содержании приматов. **Результаты.** Результатами эксперимента подтверждается, что применение белого люпина в структурах полнорационных комбикормов позволяет улучшить питательную ценность рационов. Особое внимание уделено оценке биодоступности питательных веществ белого люпина (*Lupinus albus* L.) в организме приматов *M. mulatta*. Установлено, что включение в структуру рациона белого люпина в количестве 10 % позволило улучшить переваримость сырого протеина на 5,5 %, сырого жира – на 0,99 %, сырой клетчатки – на 1,84 %. Включение в структуру рациона белого люпина в количестве 20 % позволило улучшить переваримость сырого протеина на 9,28 %, сырого жира – на 6,5 %, сырой клетчатки – на 5,98 %. Экономический эффект также значителен: включение 10 % люпина снижает стоимость комбикорма на 4,35 %, а при содержании в 20 % экономия достигает 14,49 % на 1 кг полнорационного комбикорма. В экспериментах с приматами использование белого люпина показало существенное сокращение затрат питательных веществ на 1 гол.: в группе с 20 % люпина расходы энергии, сырого и переваримого протеина снизились соответственно на 48,8 %, 47,22 % и 51,3 %, а при содержании 10 % – на 25 %, 26,38 % и 39,2 %. Таким образом, интеграция белого люпина в рационы нечеловекообразных приматов демонстрирует существенное повышение питательной ценности и снижение расходов на их содержание, не нарушая физиологический статус *M. mulatta*.

Ключевые слова: белый люпин, приматы, алкалоидность, питательность, биодоступность, обменная энергия, переваримость, экстраполяция

Для цитирования: Гапонов Н. В. Биодоступность нутриентов рационов приматов на основе белого люпина // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 887–899. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-887-899>.

Дата поступления статьи: 12.02.2025, **дата рецензирования:** 31.03.2025, **дата принятия:** 21.05.2025.

Bioavailability of nutrients in primate diets based on white lupine

N. V. Gaponov

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

E-mail: nv.1000@bk.ru

Abstract. The purpose is to study the biochemical composition of white lupine (*Lupinus albus* L.) of the Degas variety and to conduct a comparative analysis with the main crops of the legume family (Fabaceae) as sources with a high content of vegetable protein. To study the bioavailability of nutrients of white lupine in the composition of complete compound feeds for non-human primates - rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) – and to estimate the cost of production of complete compound feed based on lupine, as well as the cost of metabolic energy and other essential nutrients per 1 head per day. **Research methods.** The article raises the urgent issue of using an alternative protein source from white lupine (*Lupinus albus* L.) with high biological value for feeding primates (*Macaca mulatta*) in modern economic conditions. **The scientific novelty** lies in the fact that white lupine, due to its nutritional properties and in combination with other feed ingredients, contributes to the creation of high-quality feed, effective nutrient conversion and improved economic results in breeding primates. **Results.** In the current conditions, it is important to optimize diets using white lupine as the main source of plant protein with high biological availability and its effect on the physiological status of primates. **The results** of the experiment confirm that the use of white lupine in the structures of complete compound feeds can improve the nutritional value of diets. Special attention is paid to the assessment of the bioavailability of nutrients of white lupine (*Lupinus albus* L.) in the body of *M. mulatta* primates. It was found that when white lupine was included in the diet structure in an amount of 10 %, it improved the digestibility of crude protein relative to the control group by 5.5 %, crude fat by 0.99 %, and crude fiber by 1.84 %. When white lupine was included in the diet structure in an amount of 20 %, it improved the digestibility of crude protein relative to the control group by 9.28 %, crude fat by 6.5 %, and crude fiber by 5.98 %. The economic effect is also significant: the inclusion of 10 % lupine reduces the cost of compound feed by 4.35 %, and with a 20 % content, savings reach 14.49 % per 1 kg of complete compound feed. In experiments with primates, the use of white lupine showed a significant reduction in nutrient costs by 1 head: in the group with 20 % lupine, energy, raw and digestible protein costs decreased by 48.8 %, 47.22 % and 51.3 %, respectively, and with a content of 10 % – by 25 %, 26.38 % and 39.2 %. Thus, the integration of white lupine into the diets of non-human primates demonstrates a significant increase in nutritional value and a reduction in maintenance costs, without violating the physiological status of *M. mulatta*.

Keywords: white lupine; primates; alkaloidity; nutritional value; bioavailability; metabolic energy; digestibility; extrapolation

For citation: Gaponov N. V. Bioavailability of nutrients in primate diets based on white lupine. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 887–899. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-887-899>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.02.2025, **date of review:** 31.03.2025, **date of acceptance:** 21.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

На текущий момент фактически отсутствует актуальная информация о применении белого люпина в полнорационных комбикормах для приматов. Важной особенностью этих млекопитающих является разнообразие строения их пищеварительной системы, что у приматов отличается особой уникальностью и вариативностью даже внутри одного вида. Например, макаки-резусы (*Macaca mulatta*) характеризуются смешанным типом питания, сочетая признаки как фругофагов, так и всеядных (*frugivores* и *omnivores*) [1–3]. Лабораторные нечеловекообразные приматы благодаря способности

к всеядному питанию представляют значительный интерес в научных исследованиях в качестве биологических моделей, поскольку их пищевые предпочтения и особенности пищеварения схожи с человеческими. Это позволяет экстраполировать результаты использования люпина в кормлении приматов на питание человека, что важно, поскольку внедрение белого люпина в пищевую промышленность сталкивается с препятствиями из-за того, что эта культура считается относительно новой и не включена в нормативные документы, такие как СанПиН 2.3.2.1078-03 и действующие технические регламенты [4; 5].

Люпин выделяется среди бобовых (Fabaceae, или Leguminosae) своей высокой питательной ценностью. Белый люпин сорта Дега превосходит кормовые бобы, горох и вику по содержанию белка на 10 % и более, что делает его ценным компонентом в рационах для приматов [6; 7].

Создание рационов кормления для приматов (например, макак, таких как (*Macaca mulatta*) требует изучения их естественной кормовой базы в дикой природе. Это необходимо для разработки полнорационных комбикормов и рационов кормления, максимально соответствующих их естественным потребностям. В последнее время на основе международных исследований, включая собственные работы автора настоящей статьи, стали разрабатываться комбикорма из сельскохозяйственных культур, способные заменить естественные рационы, обеспечивая оптимальное сбалансированное кормление в неволе [8–11].

Биодоступность питательных веществ в кормах – сложный процесс, подверженный множеству влияний различных физико-химических, биологических и технологических факторов. Для оптимизации биодоступности необходимо проводить комплексные исследования и применять современные технологии обработки кормов, а также учитывать индивидуальные особенности пищеварения. Исследования показывают, что обработка и хранение люпина (*Lupinus albus* L.) существенно меняют его питательную ценность и усвояемость. Различия в биодоступности питательных веществ наблюдаются и у разных видов животных, что зависит от возраста, пола, физиологического состояния и других факторов. Каждый вид приматов имеет свои особенности пищеварительной системы, что влияет на эффективность усвоения различных кормов и питательных веществ. Например, некоторые приматы являются травоядными и обладают специализированными микробиомами, которые помогают им переваривать клетчатку и другие сложные углеводы, поступающие с растительной пищей. Так, биодоступность углеводов, белков, жиров, витаминов и минералов может варьироваться, что требует точного учета их реактивности и присутствия в рационах. Вопрос о необходимости точной оценки биодоступности питательных веществ рационов остается актуальным: важно ли знать абсолютные значения или достаточно относительной оценки по биохимическому составу? Ответ на этот вопрос однозначен: для обеспечения здоровья и нормального функционирования организма животных и человека необходимо проводить точные количественные измерения. Это критически важно как для расчета суточной потребности в нутриентах, так и для компенсации естественных потерь [12–14].

В связи с изложенным актуальность данного исследования заключается в значительном на-

учном потенциале и практической ценности для подтверждения рациональности включения белого люпина, содержащего 0,02 % алкалоидов, в состав полноценных комбикормов для приматов – макак-резусов (*Macaca mulatta*), рассматриваемых как биологические модели для исследований.

Цель исследования – изучить биохимический состав белого люпина (*Lupinus albus* L.) сорта Дега и провести сравнительный анализ с основными культурами семейства бобовых (*Fabaceae*) как источников с высоким содержанием растительного протеина; изучить биодоступность питательных веществ белого люпина в составе полнорационных комбикормов для нечеловекообразных приматов – макак-резусов (*Macaca mulatta*) – и оценить себестоимость производства полнорационного комбикорма на основе люпина, а также расходы обменной энергии и других основных питательных веществ на 1 голову в сутки.

Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент проводился на приматах вида *Macaca mulatta* в условиях ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии» (г. Сочи, Краснодарский край). Объектами исследования являлись макаки-резусы из питомника обезьян данного института. Для опытов использовали конвенциональных животных (категория I), содержащихся в открытой системе. Для эксперимента сформировали три группы по пять особей каждая, схожих по виду, происхождению, возрасту и полу согласно общепринятым методам проведения научных исследований. Группы различались рационами кормления, приматы содержались в индивидуальных приматологических клетках (рис. 1).

Макак-резусов (*Macaca mulatta*) кормили полнорационными комбикормами, питательность которых была рассчитана в соответствии с ГОСТ 34566-2019. Концентрации питательных веществ в рационах основывались на собственных исследованиях автора, а также на зарубежных работах, проведенных на других видах приматов [15; 16]. Балансовые опыты позволили определить переваримость питательных веществ и усвояемость корма. При проведении исследований были учтены следующие показатели:

- зоотехнические: сохранность поголовья, живая масса животных за весь период опыта, расход кормов;
- физиолого-биохимические аспекты: биохимический состав кормов, содержание азота и других веществ в кале, обменная энергия.

Эксперименты на нечеловекообразных приматах (рис. 2) проводились в соответствии с требованиями руководства по содержанию лабораторных животных, Хельсинкской декларации (2000) и Директивы ЕС 2010/63/ЕС. Исследование было одобрено биоэтической комиссией ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии».



Рис. 1. Приматологические клетки
Fig. 1. Primatological cells



Рис. 2. Экспериментальное животное
Fig. 2. Experimental animal

Контрольная группа получала комбикорм собственного производства, использовавшийся в ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии». В опытных рационах часть кормов растительного и животного происхождения была заменена нативным белым люпином (*Lupinus albus* L.).

Во второй опытной группе в структуре полнорационного комбикорма нативный белый люпин содержался в количестве 10 %. Замещены нативным люпином шрот соевый и подсолнечниковый на 50 %.

В третьей опытной группе доля включения нативного белого люпина составила уже 20 % от общего объема комбикорма. Замещены нативным люпином жмых соевый, подсолнечниковый и кукуруза на 50 %, рыбная мука и сухое молоко – на 50 % (таблица 1).

Содержание алкалоидов в зерне белого люпина сорта Дега определяли в лаборатории физиологии

растений ВНИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

Чтобы изучить процесс усвоения питательных веществ, был проведен балансовый (физиологический) эксперимент по оценке переваримости рационов на основе люпина.

В физиологическом эксперименте исследовались биодоступность питательных веществ и скорость роста самцов макак-резусов. Эксперимент был разделён на два периода.

На первом этапе в течение 5 дней проводилось подготовка животных к содержанию в клетках. Клетки равномерно расставляли по всей длине вивария, оставляя технологические проходы между ними. Помещение было продезинфицировано и тщательно просанировано перед размещением *Macaca mulatta*. Режим кормления приматов в опытной и контрольных группах был одинаковым.

Таблица 1
Схема научного опыта

Группа	Структура рецептов корма
1 – контрольная	ОР – основной рацион
2 – опытная	ОР – люпин белый 10 %. Замещены люпином шрот соевый и подсолнечниковый на 50 %
3 – опытная	ОР – люпин белый 20 %. Замещены люпином жмых соевый, подсолнечниковый и кукуруза на 50 %, рыбная мука и сухое молоко – на 50 %

Table 1
The scheme of scientific experience

Group	The structure of feed recipes
1 – control	BD – basic diet
2 – experienced	BD – white lupine is 10 %. Replaced with lupine: soybean meal and sunflower meal by 50 %
3 – experienced	BD – white lupine is 20 %. Replaced with lupine: soy cake, sunflower and corn by 50 %, fish meal and milk powder by 50 %

На втором этапе на протяжении 5 дней подробно учитывались потребление корма и выделения. Кал собирали ежедневно утром и вечером, взвешивали и гомогенизировали. Из каждой порции бралось по 50 % для анализа; образцы кала хранились в холодильнике. По окончании учетного периода определялась исходная влажность высушенных проб при температуре 60–70 °C до постоянной массы. Остатки корма регулярно подсчитывали, из них формировали среднюю пробу размером в 5 %, после чего проводился биохимический анализ для определения уровня питательной ценности. При этом уровень полезных веществ в данной остаточной массе существенно отличался от заявленного состава основного корма. Эти данные использовались для расчета общих затрат корма и содержания протеина, жира, клетчатки, БЭВ (безазотистых экстрактивных веществ), кальция (Ca) и фосфора (P) на весь эксперимент.

Для оценки химического состава белого люпина и полнорационного комбикорма были проведены биохимические исследования на двух устройствах: автоматизированном жидкостном хроматографе Agilent 1100 с детектором на основе диодной матрицы (производства Agilent Technologies, США) и спектральном анализаторе кормов ИНФРАСКАН-М 4200, разработанном российским производителем ООО «ЭКАН» НПП (Санкт-Петербург). Принцип работы последнего заключается в измерении интенсивности отраженного оптического излучения от образца, расчете спектральных показателей отражения и последующем определении массовых долей компонентов.

Полученные данные подвергли статистической обработке в программном обеспечении GraphPad Prism 8.0 (США), представляя результаты в виде средних значений и соответствующих стандартных ошибок. Для определения статистической значимости различий между группами использовали однофакторный дисперсионный анализ с последующим

применением коррекций Бонферрони (по методу Тьюки) и коррекций Сидака для множественных сравнений. Уровень статистической значимости был установлен на $p < 0,05$.

Результаты (Results)

В качестве белкового компонента в комбикормах используются зернобобовые культуры: соя, люпин, горох, вику и кормовые бобы. По сравнению с злаковыми культурами они отличаются значительным содержанием протеина и жиров; уступают лишь по уровню углеводов.

Изучение биохимического состава белого люпина и основных источников растительного протеина бобовых культур, представленных в таблице 2, позволило установить, что содержание сухого вещества в белом люпине, как и в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, было примерно на одном уровне. Содержание сырого протеина в белом люпине оказалось выше, чем в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, на 12,78 %, 13,68 %, 16,48 % и 5,88 % соответственно. Содержание сырого жира в зерне белого люпина было многократно больше, чем в кормовых бобах, вике яровой и горохе, в 5–6 раз, но по отношению к сое содержание жира было меньше на 7,71 %. Содержание линолевой кислоты в люпине превышало аналогичный показатель в кормовых бобах и вике яровой на 0,94 % по отношению к гороху – больше на 0,83 %, в то время как по отношению к сое содержание линолевой кислоты было меньше в 5,9 раза. Содержание сырой клетчатки в зерне белого люпина превысило таковое в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое на 8,48 %, 7,61 %, 7,41 % и 6,21 % соответственно. Высокое содержание клетчатки в зерне белого люпина негативно сказывается на переваримости питательных веществ в рационах. Поэтому при включении люпина в состав полнорационных комбикормов для моногастричных необходимо контролировать и не допускать превышения ее концентрации. Перед использованием люпина в рационах рекомендуется

подвергать его технологической обработке и снижать оболочку, что позволяет в большем объеме включать люпин в структуру рационов кормления моногастричных. Содержание крахмала в белом люпине было меньше, чем в кормовых бобах, вике яровой и горохе, на 30,47 %, 27,53 % и 18,17 % соответственно, но по отношению к сое содержание крахмала в люпине было выше на 8,41 %. В структуре зерна люпина содержание сахара было выше по сравнению с кормовыми бобами и викой яровой на 2,81 % и 3,08 % соответственно, но по сравнению с горохом и соей содержание сахара было меньше на 2,11 % и 1,89 % соответственно. Содержание неорганической части (сырой золы, кальция, калия и фосфора) в белом люпине находилось примерно на одном уровне с показателями представленных бобовых культур. Содержание обменной энергии в белом люпине было выше, чем в кормовых бобах, вике яровой, горохе и сое, на 20,93 %, 18,83 %, 15,94 % и 5,94 % соответственно. Высокая энергетическая питательность белого люпина связана с лучшей биодоступностью питательных веществ из рациона, что и подтверждает наш эксперимент. По данным некоторых авторов, переваримость люпина и рыбной муки сопоставима [17–19].

Проведенный сравнительный анализ полученных данных биохимического состава бобовых культур (Fabaceae) свидетельствует о том, что содержание протеина и иных нутриентов в белом люпине значительно выше по сравнению с другими бобовыми культурами. Такая особенность делает люпин перспективным компонентом для использования в структуре полнорационных комбикормов, способным обеспечивать до 90 % общей потребности приматов в качественном протеине растительного происхождения.

Понимание процессов переваривания и усвоения питательных веществ, а также особенности различных видов приматов позволяют организовать рацион, способствующий их здоровью и оптимизации экономических показателей содержания. Важным аспектом является создание сбалансированного рациона, который обеспечивает достаточное количество питательных элементов. Для этого следует включать в рационы разнообразные виды кормов и добавок, что позволяет избежать дефицита отдельных микро- и макроэлементов и делает питание более сбалансированным и полноценным, как показано в таблице 3.

Таблица 2
Химический состав и энергетическая ценность зернобобовых культур % ($X \pm Se$)

Показатели	Люпин белый (Дега)	Бобы кормовые	Вика яровая	Горох	Соя
Сухое вещество	87,00 ± 0,81	87,00 ± 0,87	86,00 ± 1,02	88,00 ± 1,10	86,00 ± 0,98
Сырой протеин	37,78 ± 0,27	25,00 ± 0,28	24,10 ± 0,35	21,30 ± 0,12	31,90 ± 0,54
Сырой жир	8,89 ± 0,26	1,50 ± 0,05	1,50 ± 0,08	1,80 ± 0,10	16,60 ± 0,21
Линолевая кислота	1,39 ± 0,11	0,45 ± 0,07	0,45 ± 0,01	0,56 ± 0,01	8,25 ± 0,26
Сырая клетчатка	13,21 ± 0,36	4,73 ± 0,50	5,60 ± 0,26	5,80 ± 0,30	7,00 ± 0,11
Сырая зола	3,93 ± 0,28	3,27 ± 0,22	3,40 ± 0,15	3,10 ± 0,17	4,20 ± 0,08
Крахмал	10,77 ± 0,29	41,24 ± 0,37	38,30 ± 0,12	28,94 ± 0,33	2,36 ± 0,12
Сахар	6,61 ± 0,22	3,80 ± 0,30	3,53 ± 0,16	8,72 ± 0,20	8,50 ± 0,14
Кальций	0,22 ± 0,05	0,11 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,05	0,22 ± 0,01
Фосфор	0,35 ± 0,01	0,50 ± 0,02	0,39 ± 0,03	0,38 ± 0,02	0,64 ± 0,01
Калий	1,35 ± 0,07	1,20 ± 0,05	0,96 ± 0,01	1,02 ± 0,01	1,50 ± 0,14
ОЭ, МДж/кг	11,99 ± 0,23	9,92 ± 0,24	10,09 ± 0,01	10,34 ± 0,11	11,32 ± 0,12

Примечание. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

Table 2
Chemical composition and energy value of leguminous crops % ($X \pm Se$)

Indicators	White lupine (Degas)	Beans	Spring vetch	Spring peas	Soy
Dry matter	87.00 ± 0.81	87.00 ± 0.87	86.00 ± 1.02	88.00 ± 1.10	86.00 ± 0.98
Crude protein	37.78 ± 0.27	25.00 ± 0.28	24.10 ± 0.35	21.30 ± 0.12	31.90 ± 0.54
Raw fat	8.89 ± 0.26	1.50 ± 0.05	1.50 ± 0.08	1.80 ± 0.10	16.60 ± 0.21
Linoleic acid	1.39 ± 0.11	0.45 ± 0.07	0.45 ± 0.01	0.56 ± 0.01	8.25 ± 0.26
Raw fiber	13.21 ± 0.36	4.73 ± 0.50	5.60 ± 0.26	5.80 ± 0.30	7.00 ± 0.11
Raw ash	3.93 ± 0.28	3.27 ± 0.22	3.40 ± 0.15	3.10 ± 0.17	4.20 ± 0.08
Starch	10.77 ± 0.29	41.24 ± 0.37	38.30 ± 0.12	28.94 ± 0.33	2.36 ± 0.12
Sugar	6.61 ± 0.22	3.80 ± 0.30	3.53 ± 0.16	8.72 ± 0.20	8.50 ± 0.14
Calcium	0.22 ± 0.05	0.11 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.13 ± 0.05	0.22 ± 0.01
Phosphorus	0.35 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.39 ± 0.03	0.38 ± 0.02	0.64 ± 0.01
Potassium	1.35 ± 0.07	1.20 ± 0.05	0.96 ± 0.01	1.02 ± 0.01	1.50 ± 0.14
OE, MJ/kg	11.99 ± 0.23	9.92 ± 0.24	10.09 ± 0.01	10.34 ± 0.11	11.32 ± 0.12

Note. The data is given as an average value and a standard error.

Таблица 3

Питательность полнорационных комбикормов

Показатели	Полнорационный комбикорм, (ПК)	ПК с белым люпином – 10%	ПК с белым люпином – 20 %
ОЭ, МДж	12,30	12,30	12,30
Сухое вещество, г	792,50	795,67	805,10
Сырой протеин, г	229,32	228,26	228,09
Переваримый протеин, г	206,00	200,68	199,78
Лизин, г	96,50	96,37	96,20
Метионин + цистин, г	6,53	6,68	7,19
Триптофан, г	3,35	3,09	2,94
Сырой жир, г	37,87	32,12	27,35
Сырая клетчатка, г	31,29	29,98	35,87
Кальций, г	11,99	15,21	16,79
Фосфор, г	5,07	4,24	3,06
Магний, г	2,80	2,85	3,07
Калий, г	4,61	3,51	2,85
Сера, г	2,48	3,22	4,16
Железо, мг	54,51	33,68	27,72
Медь, мг	18,20	23,05	28,76
Цинк, мг	21,27	17,74	13,72
Марганец, мг	19,75	20,71	24,01
Кобальт, мг	16,08	17,24	18,40
Йод, мг	0,28	0,26	0,18
Каротин, мг	0,64	0,47	0,38

Table 3
Nutritional value of complete compound feeds

Indicators	Complete feed, (CF)	CF with white lupine – 10 %	CF with white lupine – 20 %
OE, MJ	12.30	12.30	12.30
Dry matter, g	792.50	795.67	805.10
Crude protein, g	229.32	228.26	228.09
Digestible protein, g	206.00	200.68	199.78
Lysine, g	96.50	96.37	96.20
Methionine + lysine, g	6.53	6.68	7.19
Tryptophan, g	3.35	3.09	2.94
Crude fat, g	37.87	32.12	27.35
Crude fiber, g	31.29	29.98	35.87
Calcium, g	11.99	15.21	16.79
Phosphorus, g	5.07	4.24	3.06
Magnesium, g	2.80	2.85	3.07
Potassium, g	4.61	3.51	2.85
Sulfur, g	2.48	3.22	4.16
Iron, mg	54.51	33.68	27.72
Copper, mg	18.20	23.05	28.76
Zinc, mg	21.27	17.74	13.72
Manganese, mg	19.75	20.71	24.01
Cobalt, mg	16.08	17.24	18.40
Iodine, mg	0.28	0.26	0.18
Carotene, mg	0.64	0.47	0.38

Контрольная группа на протяжении 35 дней получала оптимизированный полнорационный комбикорм с доминирующей долей пшеницы (34,10 %). В его состав входили жмых соевый и подсолнечниковый, кукуруза и глютен – каждый по 10 %. Источниками животного белка служили

рыбная мука (6 %), яичный порошок (2 %) и сухое молоко (4 %). Для сбалансированности рациона добавлялись подсолнечное масло в объеме 0,3 % и сахар – 6 %. Дефицит кальция и фосфора восполнялся трикальцийфосфатом на уровне 3 %, а также премиксом (3,6 %).

Таблица 4

Переваримость питательных веществ корма % ($X \pm Se$)

Показатели	Группа		
	1 – контрольная	2 – опытная	3 – опытная
Протеина	49,34 ± 0,26	54,84 ± 0,53**	58,62 ± 0,17**
Жира	39,10 ± 0,28	40,09 ± 0,03	45,60 ± 0,08*
Клетчатки	19,18 ± 0,31	21,02 ± 0,18*	25,16 ± 0,28*
БЭВ	70,12 ± 1,12	78,11 ± 2,03	72,90 ± 2,03
Золы	39,23 ± 0,30	43,90 ± 0,29*	50,51 ± 0,37**
Кальция (Ca)	40,17 ± 1,94	47,16 ± 1,58*	50,10 ± 1,96
Фосфора (P)	49,19 ± 0,03	50,21 ± 0,37	57,87 ± 0,66*

Примечание. Данные получены путем усреднения 5 измерений для каждого животного и среднего значения для группы ($n = 5$).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ по сравнению с контрольной группой. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества.

Table 4

Digestibility of feed nutrients % ($X \pm Se$)

Indicators	Group		
	1 – control	2 – experienced	3 – experienced
The protein	49.34 ± 0.26	54.84 ± 0.53**	58.62 ± 0.17**
Fat	39.10 ± 0.28	40.09 ± 0.03	45.60 ± 0.08*
Fiber	19.18 ± 0.31	21.02 ± 0.18*	25.16 ± 0.28*
Nitrogen-free extractive substances	70.12 ± 1.12	78.11 ± 2.03	72.90 ± 2.03
Ashes	39.23 ± 0.30	43.90 ± 0.29*	50.51 ± 0.37**
Calcium (Ca)	40.17 ± 1.94	47.16 ± 1.58*	50.10 ± 1.96
Phosphorus (P)	49.19 ± 0.03	50.21 ± 0.37	57.87 ± 0.66*

Note. The data were obtained by averaging of 5 measurements for each animal and the average value for the group ($n = 5$).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ compared with the control group. The data is presented as an average value and a standard error.

2-я опытная группа использовала идентичный контрольному рацион по основным компонентам. Однако в него включили белый люпин – 10 %. Это привело к частичной замене соевого и подсолнечного шрота на 50 % при сохранении остальных элементов.

3-я опытная группа: включение белого люпина (20 %) повлекло за собой значительные изменения: замещение растительных кормов – жмыха соевого, подсолнечникового и кукурузы на 50 %, а также пшеницы на 0,3 %. Кроме того, животные компоненты – рыбная мука и сухое молоко – сократились вдвое (на 50 %). Увеличение уровня обменной энергии потребовало уменьшения растительного масла до 1,2 % от общего объема. Остальной состав соответствовал контрольному варианту.

Экспериментальные группы демонстрировали различные подходы к интеграции белого люпина в кормовые смеси с целью оптимизации протеиновой и энергетической составляющей рационов, сохраняя при этом баланс основных питательных веществ.

При организации полноценного кормления приматов необходимо учитывать переваримость питательных веществ; ассимиляция питательных веществ начинается с их первоначального расщепления. Ежедневный контроль над потреблением кормов животными и химический анализ этих кормов дали возможность точно определить суточное потребление питательных веществ. Аналогично из-

учение кала и его химического состава позволило выявить объем переваренных питательных элементов и рассчитать коэффициенты их переваримости. Анализ представленных данных в таблице 4 показывает, что наивысший уровень переваримости основных питательных веществ рационов наблюдается среди приматов из опытных групп. В частности, в группе 2, где в качестве экспериментального корма использовался белый люпин, коэффициент переваримости сырого протеина превысил показатели контрольной группы на 5,5 %. В группе 3, где в рационе животных проводилось частичное замещение высокопротеиновых кормов (как животного, так и растительного происхождения) белым люпином, эффективность усвоения протеина оказалась на 9,28 % выше по сравнению с контрольной группой.

В группе приматов, участвовавших в третьем опыте, отмечается наиболее высокая переваримость сырого жира, которая на 6,5 % выше, чем в контрольной группе. Вторая опытная группа показала улучшение данного коэффициента на 0,99 % по сравнению с контрольной. В обеих опытных группах (второй и третьей) наблюдается увеличение переваримости сырой клетчатки на 1,84 % и 5,98 % соответственно. В рамках исследования было установлено, что приматы второй опытной группы усваивали БЭВ на 7,99 % эффективнее, чем контрольная группа. В третьей опытной группе коэффициент переваримости БЭВ превысил показа-

тели контрольной на 2,78 %. Также стоит отметить улучшение усвоения сырой золы в опытных группах: на 4,67 % и 11,28 % соответственно. Использование макроэлементов кальция (Ca) и фосфора (P) в опытных группах также было значительно выше. В частности, коэффициент усвоения кальция во второй группе вырос на 6,99 %, а фосфора – на 1,02 %. В третьей группе показатели составили 9,93 % для кальция и 8,68 % для фосфора.

Таким образом, включение белого люпина в состав полнорационных комбикормов для макак-резусов (*M. mulatta*) в качестве основного источника растительного протеина привело к значительному повышению переваримости основных питательных веществ. Адаптационные и протекторные свойства

организма макак-резусов (*M. mulatta*) после включения белого люпина в структуру рациона оценивались методом биохимического анализа крови по окончании эксперимента. Данные о физиологическом статусе приматов, полученные на основе результатов исследования, опубликованы в работе [20].

Было выявлено, что рост тела существенно зависит от внешних факторов в питании; ключевым показателем благоприятного воздействия люпина признается прирост живой массы приматов. После добавления белого люпина в состав полнорационных кормов отмечен значительный рост: 2-я группа показывала увеличение на треть (33,30 %) относительно контрольной группы; для 3-й опытной этот показатель составил впечатляющие 95 %.

Таблица 5
Стоимость полнорационных комбикормов, 1 кг/руб

Показатели	Группы					
	1 – контрольная		2 – опытная		3 – опытная	
	г	руб.	г	руб.	г	руб.
Жмых соевый	95	6,12	41	2,64	40	2,58
Кукуруза	100	2,66	100	2,66	51	1,36
Пшеница	331	8,20	335	8,30	337	8,35
Молоко сухое обезжиренное	30	7,26	30	7,26	10	2,42
Жмых подсолнечный	110	2,94	50	1,34	50	1,34
Глютен кукурузный	90	5,55	90	5,55	90	5,55
Сахар	85	3,38	85	3,38	84	3,34
Яичный порошок	10	3,49	10	3,49	10	3,49
Масло растительное	11	0,81	11	0,81	10	0,73
Премикс	36	3,83	36	3,83	36	3,83
Витамин С стабилизированный	6	4,05	6	4,05	6	4,05
Трикальций фосфат	30	0,74	30	0,74	30	0,74
Соль	4	0,04	4	0,04	4	0,04
Рыбная мука	62	3,10	61	3,05	30	1,50
Белый люпин	–	–	111	2,78	212	5,30
ИТОГО	1000	52,17	1000	49,90	1000	44,61

Table 5
The cost of complete feed, 1 kg/rub

Indicators	Group					
	1 – control		2 – experienced		3 – experienced	
	gr	rubles	g	rubles	g	rubles
Soy cake	95	6.12	41	2.64	40	2.58
Corn	100	2.66	100	2.66	51	1.36
Wheat	331	8.20	335	8.30	337	8.35
Skimmed milk powder	30	7.26	30	7.26	10	2.42
Sunflower cake	110	2.94	50	1.34	50	1.34
Corn gluten	90	5.55	90	5.55	90	5.55
Sugar	85	3.38	85	3.38	84	3.34
Egg powder	10	3.49	10	3.49	10	3.49
Vegetable oil	11	0.81	11	0.81	10	0.73
Premix	36	3.83	36	3.83	36	3.83
Vitamin C stabilized	6	4.05	6	4.05	6	4.05
Tricalcium phosphate	30	0.74	30	0.74	30	0.74
Salt	4	0.04	4	0.04	4	0.04
Fish meal	62	3.10	61	3.05	30	1.50
White lupine	–	–	111	2.78	212	5.30
TOTAL	1000	52.17	1000	49.90	1000	44.61

Для оценки экономической целесообразности применения люпина были рассчитаны соотношения кормовых компонентов в полнорационных комбикормах и их стоимость, что позволило определить себестоимость 1 кг комбикорма.

В составе 1 кг полнорационного комбикорма первой контрольной группы, как указано в таблице 5, пшеница фуражная занимает лидирующее положение, составляя 34,1 % (331 г) с себестоимостью 8 рублей 20 копеек за 1 кг. Основными растительными источниками белка являются соевый жмых с долей 10 % (6,12 руб.), подсолнечниковый жмых (10 %, 2,94 руб.) и кукурузный глютен (10 %, 5,55 руб.). Высокопротеиновые корма животного происхождения, несмотря на их незначительное присутствие, оказались самыми дорогими: сухое обезжиренное молоко (4 %, 7,26 руб.), яичный порошок (2 %, 3,49 руб.) и рыбная мука (6 %, 3,10 руб.) существенно влияли на общую стоимость, которая составила 52,17 руб. за 1 кг комбикорма.

Во втором опытном варианте рецептуры полнорационного комбикорма произошли изменения: ввели белый люпин, заменив 50 % соевого и подсолнечникового жмыха, что позволило снизить стоимость до 49,90 руб. за 1 кг, сохранив остальные компоненты на уровне контрольной группы.

В третьей опытной группе для макак *M. mulatta* использовали комбикорм со значительными изменениями: белый люпин заменил 50 % всех растительных и животных высокопротеиновых кормов, включая соевый и подсолнечниковый жмыхи, кукурузу, рыбную муку и сухое молоко. В итоге доля белого люпина в комбикорме составила 20 %, а стоимость 1 кг снизилась до 44,61 руб.

Большое значение в себестоимости содержания приматов имеет определение оплаты корма природом: необходимо рассчитать, сколько обменной энергии и протеина потребовала одна особь за экспериментальный период.

Таблица 6
Затраты корма на 1 гол. ($X \pm Se$)

Показатели	Группы		
	1 – контрольная	2 – опытная	3 – опытная
Живая масса, кг:			
в начале опыта	9,85 ± 1,25	9,25 ± 0,07	10,27 ± 0,85
в конце опыта	10,30 ± 1,16	9,85 ± 0,71	11,15 ± 1,18**
Стоимость кормов, 1 кг/руб	52,17	49,90	44,61
% к контролю	100	-4,35	-14,49
Затраты на 1 гол., МДж	956,70	717,5	489,21
% к контролю	100	-25,00	-48,80
Сырого протеина, кг	18,00	13,25	9,50
% к контролю	100	-26,38	-47,22
Переваримого протеина, кг	16,10	9,78	7,83
% к контролю	100	-39,20	-51,30

Примечание. Данные $p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$, по сравнению с контрольной группой. Данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки.

Table 6
Feed costs per 1 head ($X \pm Se$)

Indicators	Group		
	1 – control	2 – experienced	3 – experienced
Live weight, kg:			
at the beginning of the experience	9.85 ± 1.25	9.25 ± 0.07	10.27 ± 0.85
at the end of the experience	10.30 ± 1.16	9.85 ± 0.71	11.15 ± 1.18**
The cost of feed, 1 kg/rub	52.17	49.90	44.61
% to control	100	-4.35	-14.49
Costs per 1 heab.	956.70	717.5	489.21
MJ	100	-25.00	-48.80
Crude protein, kg	18.00	13.25	9.50
% to control	100	-26.38	-47.22
Digestible protein, kg	16.10	9.78	7.83
% to control	100	-39.20	-51.30

Note. Data $p < 0.05^*$, $p < 0.01^{**}$, compared with the control group. The data is presented as an average value and a standard error.

Анализ представленных в таблице 6 данных свидетельствует о благоприятном воздействии включения белого люпина в рационы подопытных макак-резусов. В частности, самцы всех групп потребляли одинаковые объемы корма и питательных веществ на единицу массы тела в сутки, однако в опытных группах, где применялся люпин, наблюдалось значительное снижение затрат на прирост массы тела. Люпин оказал положительное влияние на обмен энергии: в третьей опытной группе затраты снизились на 48,80 % по обменной энергии, на 47,22 % по сырому протеину и на 51,3 % по переваримому протеину, что является наиболее существенным результатом. Во второй опытной группе аналогичные показатели снижения составили 25,00 %, 26,38 % и 39,20 % соответственно.

При включении белого люпина в состав полнорационных комбикормов для второй экспериментальной группы произошло значительное уменьшение стоимости 1 кг корма – на 2,27 руб. по сравнению с первой контрольной группой. В третьей опытной группе это снижение составило 7,56 руб.

Себестоимость обменной энергии также изменилась: от 3,95 руб. за 1 МДж в контрольной группе до 3,78 руб. во 2-й и 3,37 руб. в 3-й группе. Аналогичная тенденция наблюдается и в себестоимости протеина: от 0,23 руб. за 1 г в контрольной группе до 0,21 руб. во 2-й и 0,19 руб. в 3-й группе.

Таким образом, использование белого люпина в рационах самцов макак-резусов способствует существенному уменьшению потребления пита-

тельных веществ и корма на единицу прироста массы тела, что подтверждает его экономическую эффективность.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Данные, полученные в результате эксперимента, убедительно доказывают, что включение белого люпина (*Lupinus albus* L.) с алкалоидностью 0,02 % в структуру полнорационного комбикорма для нечеловекообразных приматов оказало положительное влияние на биодоступность питательных веществ рациона и привело к значительному повышению переваримости основных питательных веществ. Изученные адаптационные и протекторные свойства организма макак-резусов (*Macaca mulatta*) свидетельствуют о хорошем физиологическом статусе приматов. Использование белого люпина в рационе позволяет заменить часть белков животного происхождения растительным протеином и сбалансировать рацион по питательным веществам. Это обеспечит снижение себестоимости получаемых кормов и одновременно улучшит питательность используемых рационов. Себестоимость обменной энергии уменьшилась: от 3,95 руб. за 1 МДж в контрольной группе до 3,78 руб. во 2-й и 3,37 руб. в 3-й. Аналогичная тенденция наблюдается и в себестоимости протеина: от 0,23 руб. за 1 г в контрольной группе до 0,21 руб. во 2-й и 0,19 руб. в 3-й. Использование белого люпина позволяет снизить издержки при содержании приматов и увеличить рентабельность данного процесса. Следовательно, применение белого люпина в структуре рационов кормления приматов является целесообразным.

Библиографический список

1. Ballester D. R., Brunser O., Saitua M. T., Egana J. I., Yanez E. O., Owen D. F. Safety assessment of sweet lupine (*Lupinus albus* cv. Multolupa). II. Nine month feeding, multi-generation study in rats // Food and Chemical Toxicology. 2022. Vol. 22. Pp. 45–48.
2. Van Barneveld R. J. Understanding the nutritional chemistry of lupine (*Lupinus* spp.) seeds to improve animal husbandry efficiency // Nutrition Research Reviews. 2000. Vol. 12. Pp. 203–230.
3. Eggum B. O., Tomes G., Beams R. M., and Dutta F. U. Protein and energy estimates from rat seeds from lupine cultivars // Animal Feed Science and Technology. 2023. Vol. 43. Pp. 109–119.
4. Gaponov N. V., Yagovenko G. L. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Agriculture, Field Cultivation, Animal Husbandry, Forestry and Agricultural Products. 2021. Vol. 723. Article number 022005. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022005.
5. Гапонов Н. В. Белый люпин в полнорационных комбикормах // Адаптивное кормопроизводство. 2021. № 3. С. 60–70. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-60-70.
6. Гапонов Н. В., Анишко М. Ю., Мисникова Н. В. Питательность зерносенажной массы бинарных ценозов узколистного люпина с овсом // Кормопроизводство. 2025. № 3. С. 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21.
7. Chivers D. J., Hladik C. M. Morphology of the gastrointestinal tract of primates comparisons with other mammals in relation to diet // Journal of Morphology. 2023. Pp. 337–386.
8. Chen Y., Qin S., Ding Y., Wei L., Zhang J., Li H., Bu H., Lu Y., Cheng J. Reference values of clinical chemistry and hematology parameters in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) // Xenotransplantation. 2021. Vol. 16. Pp. 496–501.

9. Grant G., Dorward P. M., Buchan W. C., Armor J. C., Pusztai A. Consumption of diets containing raw soybeans (*Glycine max*), beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupine seeds (*Lupinus angustifolius*) in rats up to 700 days: effects on body composition // *British Journal of Nutrition*. 2022. Vol. 73. Pp. 17–29.
10. Mariotti F., Pueyo M. E., Tomé D. I., Mahe S. The bioavailability and postprandial uses of sweet lupine (*Lupinus albus*) flour protein similar to purified soy protein in human subjects: a study using internally ¹⁵N-labeled proteins // *The British Journal of Nutrition*. 2021. Vol. 87 (4). Pp. 315–323.
11. Millward D. J., Pacy P. J. Postprandial protein use and assessment of protein quality in humans // *Clinical Science (Colch)*. 2022. Vol. 88. Pp. 597–606.
12. Stephanie J. B., Howard B. Hematologic and serum biochemical and electrolyte values in clinically normal domestically bred rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) according to age, sex, and gravidity // *American Association for Laboratory Animal Science*. 2021. Vol 47, No 5. Pp. 528–533.
13. Guide for the care and use of laboratory animals [Электронный ресурс]. 8th ed. National Academies Press (US), 2021. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050> (дата обращения: 01.02.2025).
14. Duane E. U., Mary E. A., Lynne M. A., Nancy L. C., Mark S. E. Nutrient requirements of nonhuman primates. 2nd ed. 2023. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2003. 286 p. DOI: 10.17226/9826.
15. Koo B. S., Lee D. H., Kang P., et al. Reference values of hematological, biochemical parameters in young-adult cynomolgus monkey (*Macaca fascicularis*), and rhesus monkey (*Macaca mulatta*) anesthetized with ketamine hydrochloride. // *Laboratory Animal Research*. 2021. Vol. 35, No. 1. DOI: 10.1186/s42826-019-0006-0.
16. Gaponov N. V., Nersesyan J. L., Neverova O. P. White lupine as a way to improve the biochemical and economic indicators of diets of non-great apes // *E3S Web of Conferences: International Conference “Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic” (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Pp. 04–12.
17. Ленкова Т. Н., Зевакова В. К. Питательная ценность и антипитательные факторы семян люпина // *Птицеводство*. 2022. № 1. С. 21–23.
18. Патент № 2733291 С1 Российская Федерация, МПК А23К 10/22, А23К 40/10, А23К 50/00. Способ оптимизации полнорационного комбикорма рыбной мукой для снижения себестоимости содержания приматов: № 2019144389 / Н. В. Гапонов. Заявл. 24.12.2019; опубл. 01.10.2020.
19. Гапонов Н. В., Пигарева С. А. Влияние технологических обработок кормов их люпина на химический состав и переваримость питательных веществ дыльками бройлерами // *РацВетИнформ*. 2010. № 7. С. 22–26.
20. Гапонов Н. В. Вариабельность биохимических маркеров и показателей крови приматов при коррективке рационов кормления // *Биотехнология*. 2025. Т. 41, № 2. С. 38–47. DOI: 10.56304/S0234275825020036.

Об авторе:

Николай Васильевич Гапонов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru

References

1. Ballester D. R., Brunser O., Saitua M. T., Egana J. I., Yanez E. O., Owen D. F. Safety assessment of sweet lupine (*Lupinus albus* cv. Multolupa). II. Nine month feeding and multi-generation study in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 2022; 22: 45–48.
2. Van Barneveld R. J. Understanding the nutritional chemistry of lupine (*Lupinus* spp.) seeds to improve animal husbandry efficiency. *Nutrition Research Reviews*. 2000; 12: 203–230.
3. Eggum B. O., Tomes G., Beams R. M., Dutta F. U. Protein and energy estimates from rat seeds from lupine cultivars. *Animal Feed Science and Technology*. 2023; 43: 109–119.
4. Gaponov N. V., Yagovenko G. L. The lupine significance for forage production: lupin-and-rape concentrate as a source of valuable nutrients for animal feeding. *IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products Ser. 2*. Smolensk, 2021. Vol. 723. Article number 022005. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022005.
5. Gaponov N. V. White lupine in whole-grain compound feeds. *Adaptive Fodder Production*. 2021; 3: 60–70. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-60-70. (In Russ.)
6. Gaponov N. V., Anishko M. Yu., Misnikova N. V. Nutritional value of the grain-bearing mass of binary cenoses of narrow-leaved lupine with oats. *Kormoproizvodstvo*. 2025; 3: 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21. (In Russ.)
7. Chivers D. J., Hladik C. M. Morphology of the gastrointestinal tract of primates. Comparisons with other mammals in relation to diet. *Journal of Morphology*. 2023: 337–386.

8. Chen Y., Qin S., Ding Y., Wei L., Zhang J., Li H., Bu H., Lu Y., Cheng J. Reference values of clinical chemistry and hematology parameters in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Xenotransplantation*. 2021; 16: 496–501.
9. Grant G. Dorward P. M., Buchan W. C., Armor J. C. and Pusztai A. Consumption of diets containing raw soybeans (*Glycine max*), beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupine seeds (*Lupinus angustifolius*) in rats up to 700 days: effects on body composition. *British Journal of Nutrition*. 2022; 73: 17–29.
10. Mariotti F., Pueyo M. E., Tomé D. I., Mahe S. The bioavailability and postprandial uses of sweet lupine (*Lupinus albus*) flour protein similar to purified soy protein in human subjects: a study using internally ¹⁵N-labeled proteins. *The British Journal of Nutrition*. 2021; 87 (4): 315–323.
11. Millward D. J., Pacy P. J. Postprandial protein use and assessment of protein quality in humans. *Clinical Science (Colch)*. 2022; 88: 597–606.
12. Stephanie J. B., Howard B. Hematologic and serum biochemical and electrolyte values in clinically normal domestically bred rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) according to age, sex, and gravidity. *American Association for Laboratory Animal Science*. 2021; 47 (5): 528–533.
13. Guide for the care and use of laboratory animals [Internet] [cited 2025 Feb 01]. 8th ed. National Academies Press (US), 2025. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54050>.
14. Duane E. U., Mary E. A., Lynne M. A., Nancy L. C., Mark S. E. *Nutrient requirements of nonhuman primates*. 2nd ed. 2023. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2003. 286 p. DOI: 10.17226/9826.
15. Koo B. S., Lee D. H., Kang P., et al. Reference values of hematological, biochemical parameters in young-adult cynomolgus monkey (*Macaca fascicularis*), and rhesus monkey (*Macaca mulatta*) anesthetized with ketamine hydrochloride. *Laboratory Animal Research*. 2021; 35 (1). DOI: 10.1186/s42826-019-0006-0.
16. Gaponov N. V., Nersesyan J. L., Neverova O. P. White lupine as a way to improve the biochemical and economic indicators of diets of non-great apes. *E3S Web of Conferences: International Conference "Ensuring Food Security in the Context of the COVID-19 Pandemic" (EFSC2021)*. Doushanbe, Republic of Tadjikistan, 2021. Vol. 282. Pp. 04–12.
17. Lenkova T. N., Zevakova V. K. Nutritional value and anti-nutritional factors of lupine seeds. *Poultry*. 2022; 1: 21–23. (In Russ.)
18. Patent No. 2733291 C1 Russian Federation, IPC A23K 10/22, A23K 40/10, A23K 50/00. A method for optimizing complete fish meal feed to reduce the cost of keeping primates. Gaponov N. V. № 2019144389: 24.12.2019: (In Russ.)
19. Gaponov N. V., Pigareva S. A. The effect of technological treatments of their lupine feed on the chemical composition and digestibility of nutrients by broiler chickens. *RatsVetInform*. 2010; 7: 22–26. (In Russ.)
20. Gaponov N. V. Variability of biochemical markers and blood parameters of primates when adjusting feeding diets. *Biotehnologiya*. 2025; 41 (2): 38–47. DOI: 10.56304/S0234275825020036. (In Russ.)

Author's information:

Nikolay V. Gaponov, candidate of biological sciences, senior researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Michurinskiy settlement, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru

Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы

В. В. Гарт[✉], С. Г. Куликова, Е. В. Камалдинов, К. Н. Нарожных, А. Ф. Петров

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

[✉]E-mail: gvlvl@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – исследовать возможность прогнозирования удоя и содержания молочного жира первотелок по группе признаков линейной оценки экстерьера. **Методы.** Изучалась сопряженность сочетания признаков молочной продуктивности (удоя и содержания молочного жира) с 18 линейными признаками, а также составленными из них комплексами у высокопродуктивных коров первого отела голштинской породы. Средние показатели исследуемой группы за 305 дней лактации составляли: по удою 10 093 кг, по содержанию молочного жира – 388 кг. Связь оценивали вычислением рангового коэффициента корреляции Спирмена после предобработки первичных данных. **Результаты.** Установлена низкая статистически достоверная связь сочетания удоя и содержания жира с отдельными линейными признаками экстерьера, которая варьировалась от 0,054 до 0,173. Приведены два алгоритма составления комплексов: 1) на основе проранжированных значений коэффициентов корреляции; 2) по вкладу в увеличение значения коэффициента корреляции комплекса с продуктивными признаками. По эмпирическим данным полученной связи построены графики зависимости удоя и выхода молочного жира, которые можно использовать для не прямой оценки продуктивности групп первотелок с определенным комплексным баллом. Приведены полиномиальные формулы высокоаппроксимированных линий тренда для каждого эмпирического графика. Самый высокий коэффициент корреляции продуктивности с комплексом, составленным в соответствии с первым алгоритмом, был +0,296, а со вторым равнялся +0,299. Сформированный по второму алгоритму комплекс по своим характеристикам был более удобен для косвенного прогнозирования удоя и содержания молочного жира. **Научная новизна** проведенных исследований заключается в том, что сравниваются результаты разных алгоритмов формирования сочетаний экстерьерных показателей для не прямого прогнозирования сразу двух признаков молочной продуктивности коров.

Ключевые слова: голштинская порода, первотелки, экстерьер, линейная оценка, продуктивность, удой, содержание молочного жира, корреляция, Западная Сибирь, комплекс линейных признаков, регрессионная модель, прогнозирование продуктивности

Для цитирования: Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Нарожных К. Н., Петров А. Ф. Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 900–914. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914>.

Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания № FESF-2023-0016.

Дата поступления статьи: 09.12.2024, **дата рецензирования:** 14.03.2025, **дата принятия:** 24.04.2025.

Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed

V. V. Gart[✉], S. G. Kulikova, E. V. Kamaldinov, K. N. Narozhnykh, A. F. Petrov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: gylvl@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is to investigate the possibility of predicting milk yield and milk fat content of first-calf heifers by a group of features of linear exterior assessment. **Methods.** The conjugation of the combination of milk productivity traits (milk yield and milk fat content) with eighteen linear traits, as well as complexes composed of them in highly productive cows of the first calving of the Holstein breed was investigated. The average indicators of the studied group for 305 days of lactation were: milk yield – 10 093 kg, milk fat content – 388 kg. **Results.** A low statistically significant relationship between the combination of milk yield and fat content with individual linear assessment traits was established, which ranged from 0.054 to 0.173. Two algorithms for compiling complexes are given: 1) based on the ranked values of correlation coefficients; 2) by contribution to the increase in the value of the correlation coefficient of the complex with productive traits. Based on the empirical data of the obtained relationship, graphs of the dependence of milk yield and milk fat yield were constructed, which can be used for indirect assessment of the productivity of groups of first-calf heifers with a certain complex score. Polynomial formulas of highly approximated trend lines for each empirical graph are given. The highest coefficient of correlation of productivity with the complex compiled in accordance with the first algorithm was +0.296, and with the second – +0.299. The complex formed according to the second algorithm was more convenient for indirect prediction of milk yield and milk fat content. **The scientific novelty** of the research lies in the fact that the results of different algorithms for the formation of combinations of exterior indicators are compared for indirect prediction of two signs of milk productivity of cows at once.

Keywords: Holstein breed, first heifers, exterior, linear assessment, productivity, milk yield, milk fat content, correlation, Western Siberia, complex of linear features, regression model, predicting productivity

Acknowledgements. The study was carried out on the topic of the State Assignment No. FESF-2023-0016.

For citation: Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Narozhnykh K. N., Petrov A. F. Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 900–914. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914>. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.12.2024, **date of review:** 14.03.2025, **date of acceptance:** 24.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Линейные признаки играют значительную роль в селекционном процессе крупного рогатого скота. Отбор только по продуктивности без учета внешних форм животного, как правило, приводит к уклонению в сторону нежного типа конституции [1]. Поскольку пороки экстерьера могут отрицательно сказываться на здоровье и, как следствие, на продуктивности и воспроизводительной способности, оценка по линейным признакам является неотъемлемой частью характеристики племенной ценности животных [2; 3]. Все большее распространение находят низкострессовые бесконтактные методы фиксации линейных параметров экстерьера: глазомерная [4], а также с использованием фото- и лазерной техники [5].

Корректировка недостатков телосложения и повышения продуктивности в будущих поколениях требует сравнительной оценки популяций живот-

ных, относящихся к кластерам стран, осуществляющих торговлю генетическим материалом [4; 6], хотя его приобретение в настоящее время осложняется из-за введения санкций [7]. Для рационального использования генетического материала в селекционной работе необходима точная экстерьерная характеристика стада [1]. Это требует квалифицированной оценки линейного профиля при отборе животных с высокими показателями продуктивности [8].

Линейную оценку вместе с продуктивными качествами используют в селекционных индексах [9] для формирования желательного экстерьера у высокопродуктивных типов и пород животных [10; 11], а также для прогнозирования продуктивности, для чего признаки с высокой корреляцией наиболее предпочтительны [12].

В некоторых малых группах животных корреляционная связь между молочной продуктивностью (удой, выход молочного жира) и показателями экстерьера могла достигать даже 0,7 в абсолютном значении [13–15]. Однако у исследователей разных стран, изучавших этот показатель на большом поголовье, он был низким (до 0,24) [16–18].

Более высокую сопряженность с продуктивными качествами, в частности с удоём, имеет комплекс линейных признаков, для которого рассчитывается суммарный балл. При этом первичные данные должны пройти правильную предварительную обработку [19].

Методология и методы исследования (Methods)

Изучалась сопряженность сочетания признаков продуктивности (удоя и молочного жира) с разными комплексами линейных признаков у первотелок. Для устранения влияния продолжительности дойного периода животные с укороченной лактацией были исключены из выборки.

Продуктивность 1243 исследуемых животных варьировалась в диапазоне от 4673 до 13 729 кг по удою и от 164 до 537 кг по содержанию молочного жира за 305 дней лактации.

Каждая корова была оценена по 18 линейным признакам (таблица 1) по соответствующей методике [4].

Предобработка первичных данных состояла в нормализации признаков продуктивности (для приведения их значений к общей шкале) и корректировки оценочных значений линейных признаков.

Нормализация производилась по формуле:

$$x_{\text{норм}} = (x - \bar{x}) / \sigma,$$

где $x_{\text{норм}}$ – нормализованное значение признака;

x – значение признака;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое;

σ – среднее квадратическое отклонение.

Для вычисления общего показателя продуктивности суммировались нормализованные значения удоя и содержания молочного жира.

Выраженность каждого из 18 изучаемых признаков экстерьера была оценена в диапазоне от 1 до 9 баллов. Корректировка оценочных значений линейных признаков применялась с целью получения максимальных рангов животными, имеющими желательный балл при вычислении коэффициента корреляции Спирмена (r_s). Так, например: если желательный балл линейного признака составлял 5 пунктов, то животным, имеющим оценки 6, 7, 8 или 9, изменяли эти значения на 4, 3, 2 или 1 соответственно. Если желательный балл рекомендовался двумя значениями выраженности признака (например, 6–7), то животным, имеющим эти оценки, присваивали одинаковый статус 6 баллов, а остальным, с оценкой 8 и 9, – 7 и 8 баллов соответственно [19; 20].

Силу связи классифицировали по шкале Чеддока [21].

Для предобработки первичных данных, статистической обработки цифрового материала и составления комплексов линейных признаков использовали LibreOffice Calc и язык статистического программирования R.

Результаты (Results)

После нормализации значений удоя и содержания молочного жира за 305 дней для каждой первотелки был вычислен общий показатель продуктивности и рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции с каждым линейным признаком (таблица 1). Для сравнения в этой таблице приведены и величины показателей связи линейных признаков с удоём и содержанием молочного жира по отдельности, представленные в более ранних публикациях [19; 20].

По величине статистически значимых коэффициентов корреляции общего показателя продуктивности с одиночными линейными признаками можно сказать, что связь слабая, а ее величина варьируется в пределах значений, рассчитанных для удоя и молочного жира в отдельности. Статистически значимых обратных связей не зарегистрировано.

Признаки «ширина задних долей вымени», «длина передних долей вымени», «высота прикрепления задних долей вымени», «борозда вымени», «обмускуленность» и «длина сосков» имели статистически достоверные величины показателей связи для всех рассматриваемых видов молочной продуктивности; «рост» и «крепость телосложения» – для общего показателя и удоя; «длина крестца» и «ширина таза» – только для молочного жира; «молочные формы» – только для удоя. По остальным линейным признакам статистически значимых коэффициентов корреляции с показателями молочной продуктивности не выявлено.

Применение опубликованного нами эффекта повышения значения коэффициента корреляции при объединении нескольких линейных признаков в комплекс путем суммирования их откорректированных оценок [19; 20] дает возможность составлять комплексы линейных признаков, наиболее тесно связанных с каким-либо показателем продуктивности. Подбирать линейные признаки, входящие в комплекс, можно разными способами:

1) расчет коэффициентов корреляции каждого экстерьерного признака с продуктивным, ранжирование полученных значений, составление комплекса путём включения в него линейных признаков в порядке их ранговой очередности, а затем пересчета коэффициента корреляции для каждого нового комплекса;

Таблица 1

Коэффициенты ранговой корреляции между линейными признаками экстерьера и признаками продуктивности первотелок за 305 дней лактации

№ п/п	Линейный признак	r_s		
		Общий показатель продуктивности	Удой, кг [19]	Молочный жир, кг [20]
1	Ширина задних долей вымени	0,173***	0,192***	0,140***
2	Длина передних долей вымени	0,171***	0,165***	0,154***
3	Высота прикрепления задних долей вымени	0,130***	0,118***	0,118***
4	Борозда вымени	0,127***	0,091***	0,143***
5	Обмускуленность	0,080**	0,091***	0,067*
6	Длина сосков	0,064*	0,058*	0,060*
7	Рост	0,059*	0,095***	0,015
8	Крепость телосложения	0,054*	0,054*	0,044
9	Длина крестца	-0,047	0,008	-0,093**
10	Ширина таза	0,047	0,006	0,082**
11	Постановка задних ног (вид сбоку)	0,030	0,016	0,041
12	Молочные формы	0,028	0,060*	-0,005
13	Расположение передних сосков	-0,027	-0,053	0,001
14	Положение таза	-0,019	0,002	-0,035
15	Глубина туловища	0,013	-0,019	0,041
16	Угол копыта	-0,013	-0,032	0,005
17	Прикрепление передних долей вымени	0,011	-0,009	0,022
18	Положение дна вымени	0,010	0,017	0,003

Примечание. Здесь и далее * $\alpha < 0,05$, ** $\alpha < 0,01$, *** $\alpha < 0,001$.

Table 1

Coefficients of rank correlation between linear traits of exterior and traits of productivity of first-calf heifers for 305 days of lactation

No.	Linear trait	r_s		
		Total productivity index	Milk yield, kg [19]	Milk fat, kg [20]
1	Width of the posterior lobes of the udder	0.173***	0.192***	0.140***
2	Length of the front lobes udder	0.171***	0.165***	0.154***
3	Height of attachment of the posterior lobes of the udder	0.130***	0.118***	0.118***
4	Udder cleft	0.127***	0.091***	0.143***
5	Muscularity	0.080**	0.091***	0.067*
6	Length of the teats	0.064*	0.058*	0.060*
7	Height	0.059*	0.095***	0.015
8	Body strength	0.054*	0.054*	0.044
9	Rump length	-0.047	0.008	-0.093**
10	Pelvic width	0.047	0.006	0.082**
11	Rear leg placement (side view)	0.030	0.016	0.041
12	Milk forms	0.028	0.060*	-0.005
13	Location of the anterior teats	-0.027	-0.053	0.001
14	Pelvic position	-0.019	0.002	-0.035
15	Body depth	0.013	-0.019	0.041
16	Hoof angle	-0.013	-0.032	0.005
17	Attachment of the front lobes of the udder	0.011	-0.009	0.022
18	Position of the bottom of the udder	0.010	0.017	0.003

Note. Here and after * $\alpha < 0.05$, ** $\alpha < 0.01$, *** $\alpha < 0.001$.

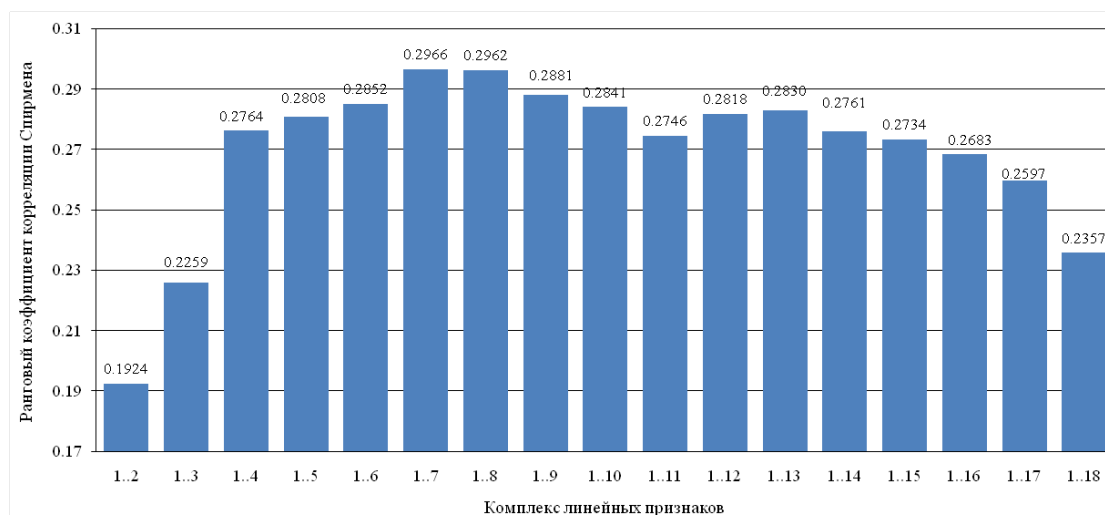


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляции общего показателя молочной продуктивности (удой и содержание молочного жира) с разными комплексами линейных признаков

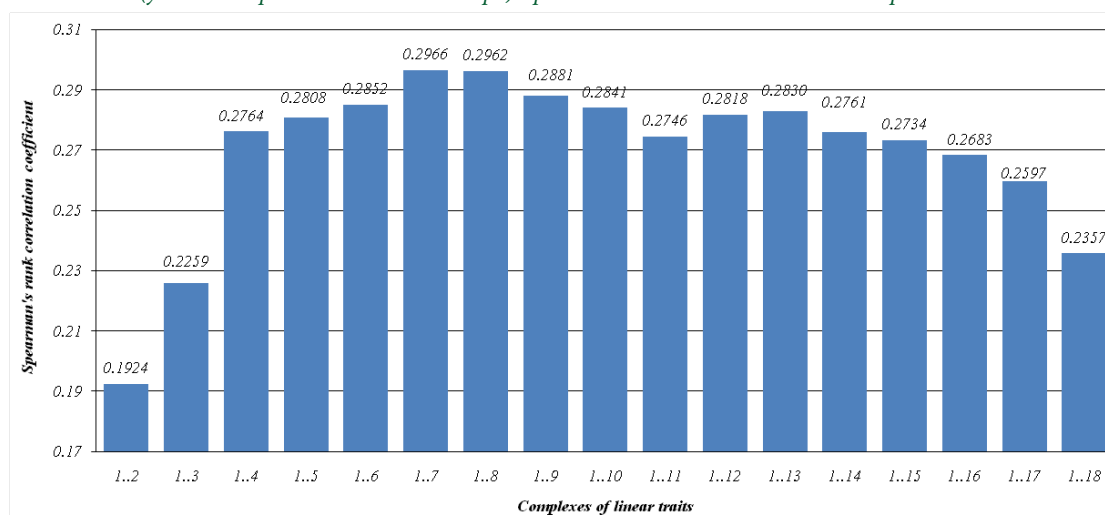


Fig. 1. Values of correlation coefficients of the total indicator of milk productivity (milk yield and milk fat content) with different complexes of linear traits

2) взяв за первый линейный признак комплекса тот, что имеет наибольшую ассоциацию с продуктивным, методом перебора находить те, которые при включении в комплекс дают наибольший прирост значения коэффициента корреляции с прогнозируемым признаком;

3) составление всевозможных сочетаний линейных признаков (с количеством в комплексе от 2 до 18) и последующий расчет коэффициентов корреляции каждого комплекса с продуктивным признаком, а затем методом сравнения выявление комплекса, наиболее ассоциированного с изучаемым признаком продуктивности.

Последний алгоритм очень громоздок по затратам времени и электронным ресурсам, поэтому мы использовали только два первых и сравнили полученные результаты.

Формирование комплексов по первому алгоритму происходило в следующем порядке:

1) вычисление ранговых коэффициентов корреляции для каждого линейного признака с общим показателем продуктивности;

2) ранжирование рассчитанных связей по их абсолютному значению (таблица 1);

3) составление комплексов, при котором каждый последующий дополняется еще одним линейным признаком согласно его рангу;

4) расчет баллов комплекса для каждого животного путем суммирования откорректированных оценок линейных признаков, если коэффициент корреляции положительный, или вычитания – если отрицательный;

5) нахождение значения рангового коэффициента корреляции между каждым сформированным комплексом и общим показателем продуктивности.

Таблица 2
Измененный порядок линейных признаков
для составления комплексов

№	Линейный признак	Комплекс признаков
1	Ширина задних долей вымени	
2	Борозда вымени	1..2
3	Длина передних долей вымени	1..3
4	Обмускуленность	1..4
5	Длина сосков	1..5
6	Рост	1..6
7	Высота прикрепления задних долей вымени	1..7
8	Расположение передних сосков	1..8

Table 2
Altered order of linear features
for composing complexes

No.	Linear trait	Complex of traits
1	Width of the posterior lobes of the udder	
2	Udder cleft	1..2
3	Length of the front lobes udder	1..3
4	Muscularity	1..4
5	Length of the teats	1..5
6	Height	1..6
7	Height of attachment of the posterior lobes of the udder	1..7
8	Location of the anterior teats	1..8

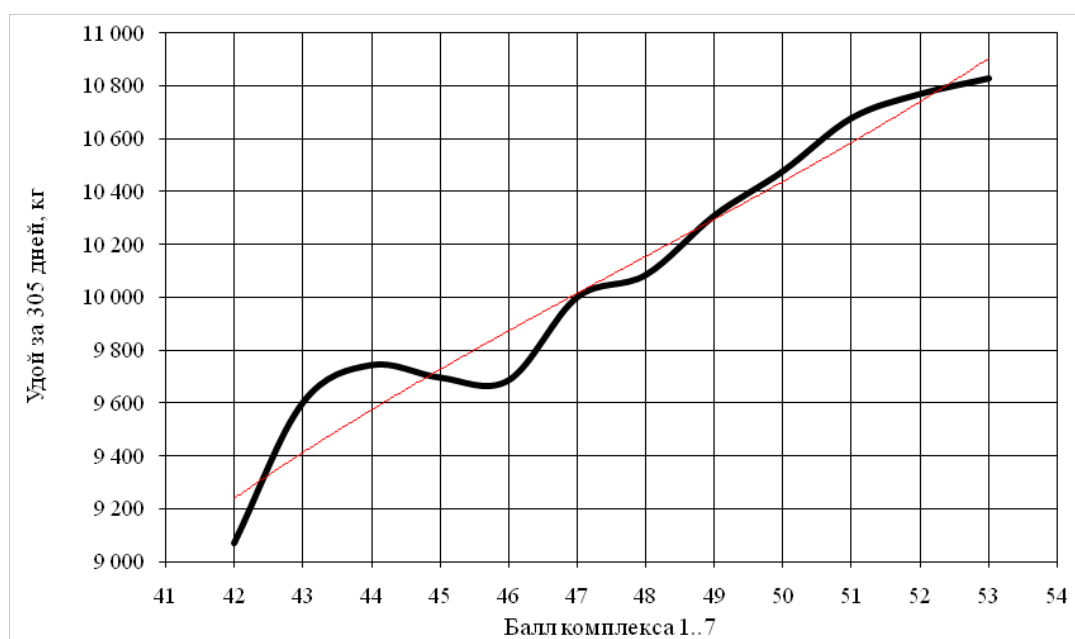


Рис. 2. Зависимость удоя от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

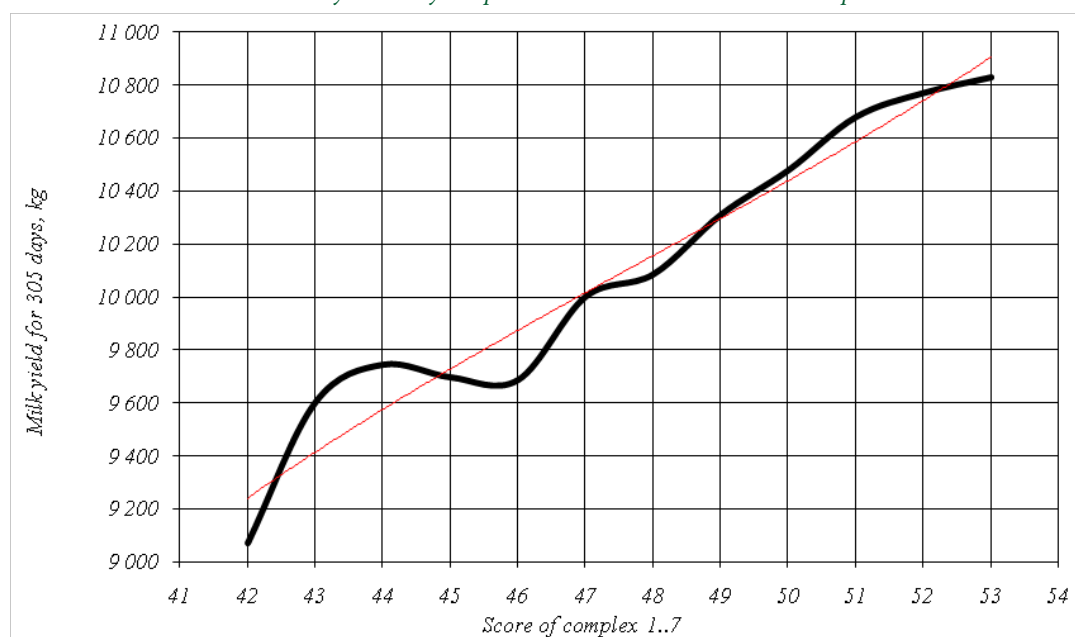


Fig. 2. Dependence of milk yield on the total score of a set of linear characteristics 1..7

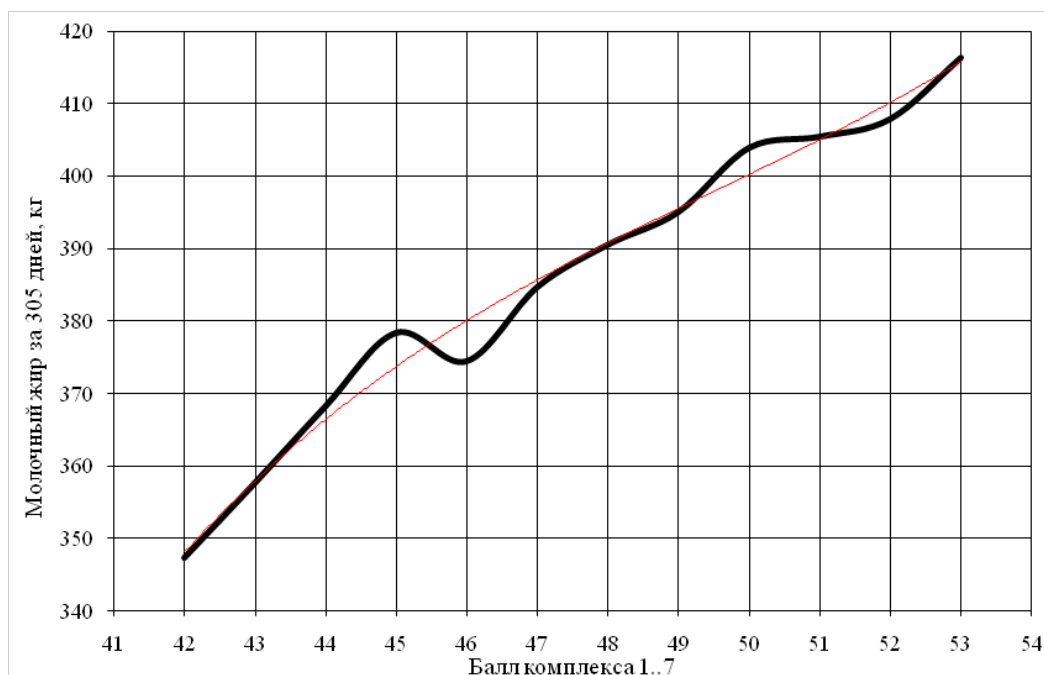


Рис. 3. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

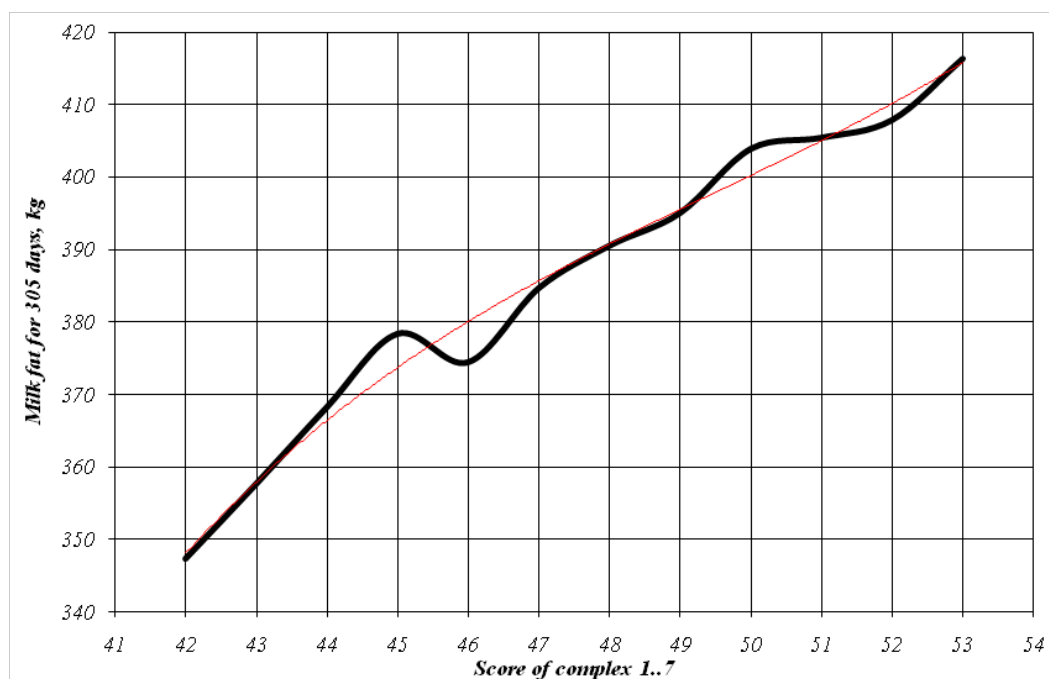


Fig. 3. Dependence of milk fat content on the total score of a complex of linear traits 1..7

Результаты расчетов по этому алгоритму представлены на рис. 1. Все значения коэффициентов корреляции были статистически достоверны по первому уровню вероятности. Анализируя диаграмму, можно отметить, что наиболее скоррелированным с общим показателем продуктивности является комплекс, состоящий из линейных признаков с 1-го по 7-й согласно ранжированию (таблица 1), а именно: ширина задних долей вымени (ШЗД), длина передних долей вымени (ДПД), высота прикрепления задних долей вымени (ВЗД), борозда вымени (БВ), обмускуленность (ОБМ), длина сосков (ДС), рост

(Р). При этом значение коэффициента корреляции возросло в 1,71 раза по сравнению с лучшим для одиночного признака (таблица 1). Примечательно, что из 7 признаков, вошедших в комплекс, 5 относятся к характеристике вымени.

Направление связи для каждого признака, входящего в комплекс, было положительным (таблица 1), поэтому формула расчета итогового балла комплекса линейных признаков 1..7 для каждого животного имеет следующий вид:

$$КБ = ШЗД + ДПД + ВЗД + БВ + ОБМ + ДС + Р.$$

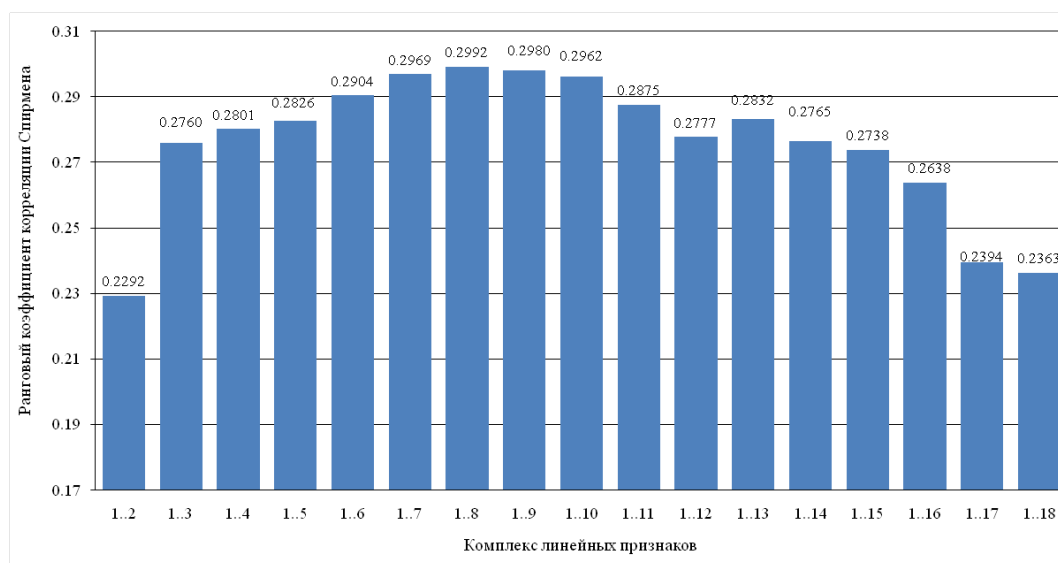


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции показателей молочной продуктивности (удой и содержание молочного жира) и комплексами линейных признаков

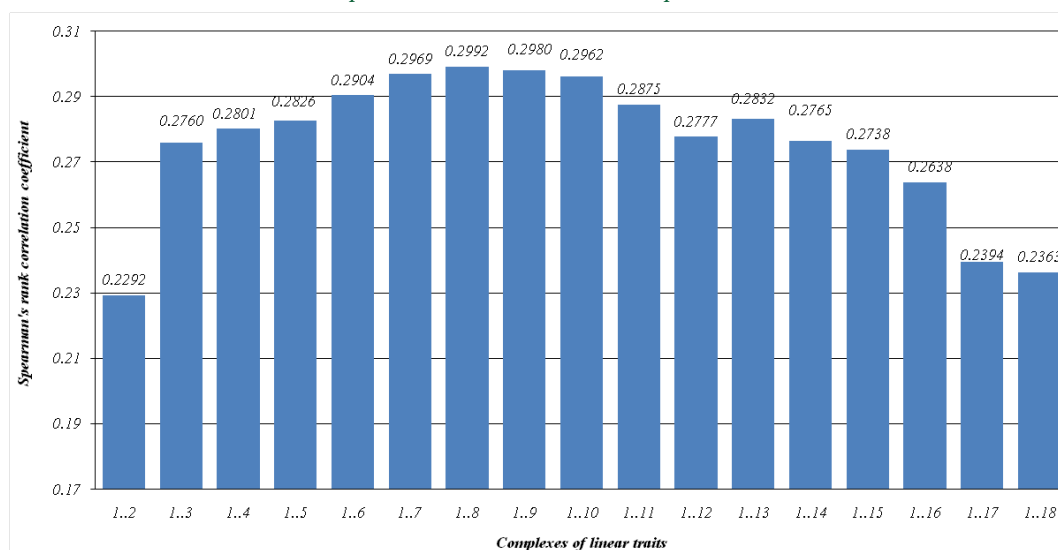


Fig. 4. Values of correlation coefficients of milk productivity indicators (milk yield and milk fat content) and complexes of linear traits

Для наиболее точного отображения зависимости каждого из показателей продуктивности от суммарного балла линейного комплекса крайние варианты (балл, на который приходилось менее 10 наблюдений продуктивного признака) были исключены из анализа. Графическое представление влияния комплекса на удой первотелок за 305 дней лактации показано на рис. 2. Приведенный график (здесь и далее изображен как черная линия) указывает на прямую зависимость удоя от суммарной оценки вышеописанных семи признаков. Линия тренда (здесь и далее изображена как красная линия) задается полиномом третьей степени:

$$y = 0,3784x^3 - 54,361x^2 + 2742,9x - 38103.$$

Коэффициент детерминации R^2 составил 0,9538, что соответствует высокой точности аппроксимации тренда с графиком. Этот график можно исполь-

зовать для прогнозирования среднего удоя группы животных, имеющих одинаковый балл.

Зависимость выхода молочного жира (рис. 3) тоже свидетельствует о возможности косвенной оценки этого вида продуктивности у первотелок.

Полиномиальная формула тренда имела следующий вид:

$$y = 0,0357x^3 - 5,2904x^2 + 266,28x - 4145,4.$$

Для выхода молочного жира коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком был еще выше ($R^2 = 0,9845$).

Такой несложный подход к группированию, основанный на включении в новый комплекс линейного признака следующего по величине абсолютного значения коэффициента корреляции, упрощает задачу поиска лучших сочетаний, которые могут быть теснее других связаны с продуктивностью.

Второй алгоритм состоял в том, чтобы путем перебора найти признак, который, сочетаясь с лучшим одиночным (ширина задних долей вымени), приводил бы к наибольшему возрастанию коэффициента корреляции. Им стал признак «борозда вымени» (таблица 2). Объединение их в комплекс путем суммирования откорректированных оценок привело к повышению коэффициента корреляции до 0,2292 (рис. 4, комплекс 1..2). Следующее значительное возрастание произошло при включении в комплекс третьего признака «длина передних долей вымени». Каждое дальнейшее расширение комплекса по этой методике давало все меньший эффект, а после присоединения восьмого признака (таблица 2) рост коэффициента корреляции прекратился, и любое дополнение приводило к падению

его значения (рис. 4), поэтому остальные признаки не вошли в формируемый комплекс. При этом все коэффициенты корреляции были статистически достоверны ($\alpha < 0,001$).

Полученный этим способом комплекс по сравнению с вышеописанным имел в своем составе восьмой признак «расположение передних сосков». В этом случае комплекс имел 6 показателей, относящихся к характеристике вымени, из 8. Поскольку этот признак имел отрицательное направление связи с общим показателем продуктивности, то при формировании суммарного балла линейного комплекса оценка линейного параметра «расположение передних сосков» (РПС) бралась с отрицательным знаком. Формула расчета итогового балла комплекса стала следующей:

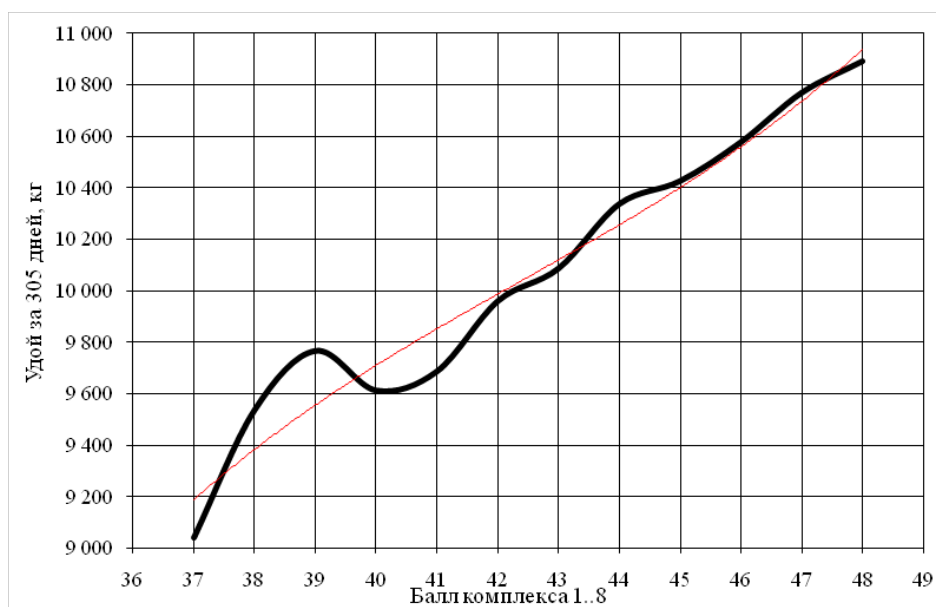


Рис. 5. Зависимость удоя от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..8

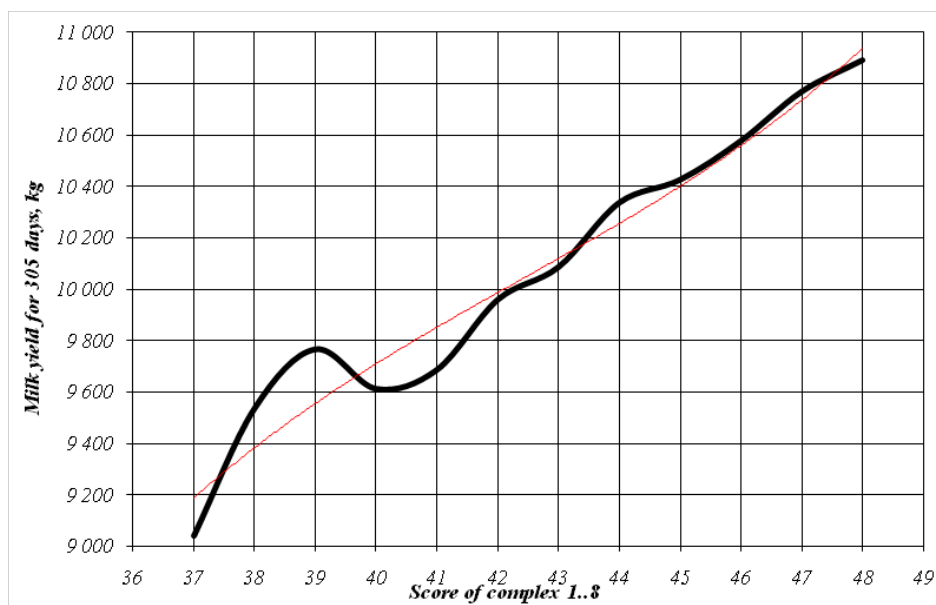


Fig. 5. Dependence of milk yield on the total score of a set of linear characteristics 1..8

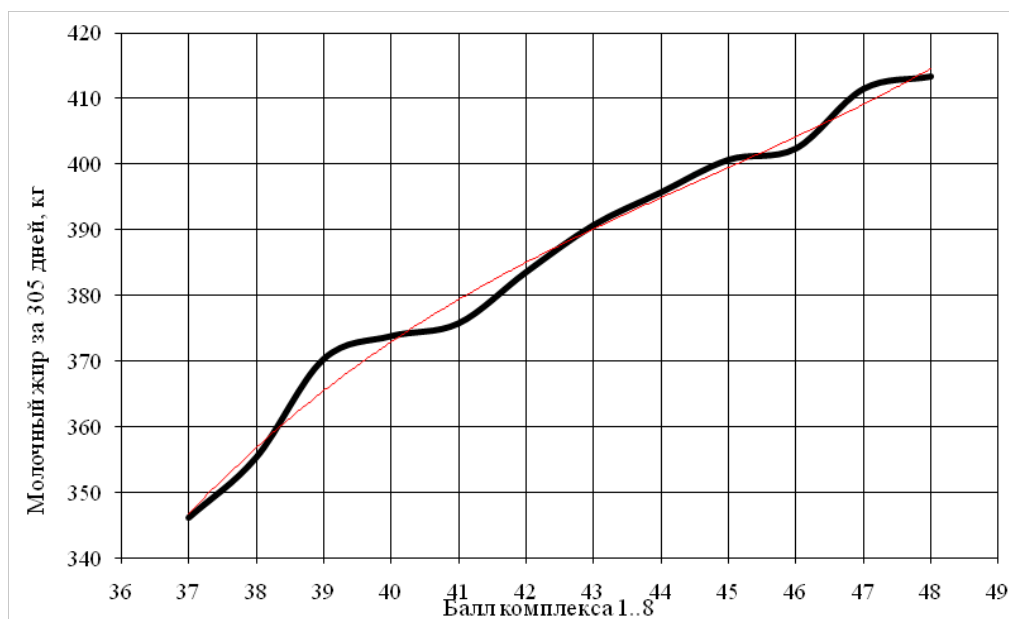


Рис. 6. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..8

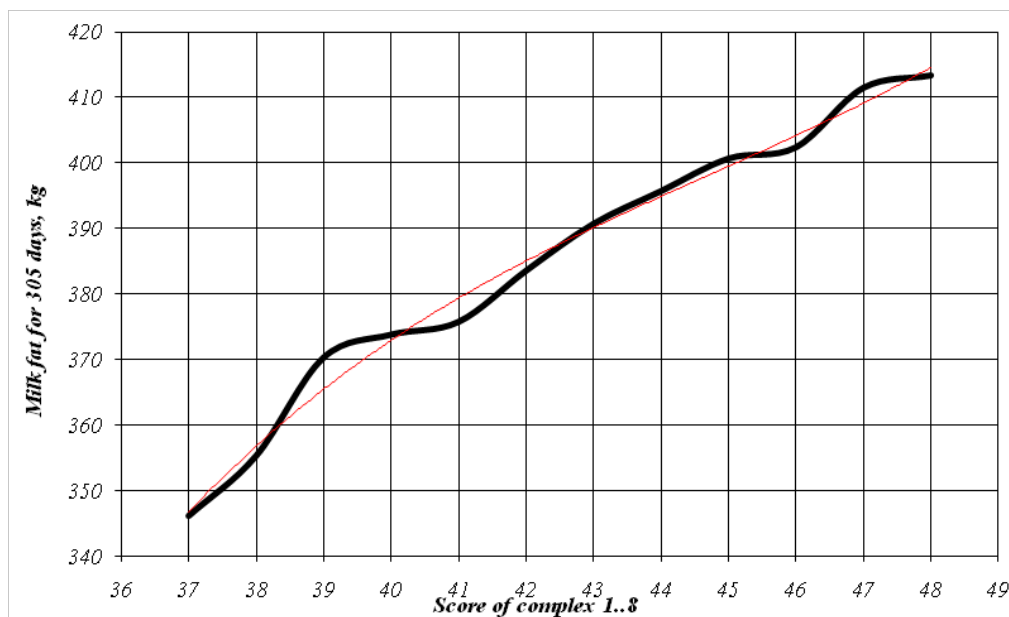


Fig. 6. Dependence of milk fat content on the total score of a complex of linear traits 1..8

$$KB = ШЗД + БВ + ДПД + ОБМ + ДС + P + ВЗД - РПС.$$

Хоть РПС и не имело статистически достоверной связи с продуктивными признаками, но включение его в комплекс имело несколько довольно важных положительных аспектов:

- 1) повысилось значение коэффициента корреляции: оно стало в 1,73 раза выше значения аналогичного показателя с одиночным признаком (таблица 1);
- 2) скорректировался эмпирический график зависимости удоя (рис. 5). По сравнению с предыдущим (рис. 3) у него сузился диапазон перегиба с трех (44–46) до двух (39–40) баллов комплекса, сам он стал меньше отклоняться от тренда. В результа-

те коэффициент детерминации тренда повысился до 0,9592;

3) модифицировалась эмпирическая линия зависимости содержания молочного жира (рис. 6). При сравнении с предшественницей (рис. 4) можно отметить, что, кроме уменьшения извилистости, у нее устранился перегиб в диапазоне 45–46 баллов, что повлияло на коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком, и он увеличился до 0,9891.

Изменились и формулы линий тренда:

$$y = 0,8768x^3 - 111,47x^2 + 4856,7x - 62\,320 \text{ для удоя,}$$

$$y = 0,0356x^3 - 4,7631x^2 + 217,3x - 2973,5 \text{ для содержания молочного жира.}$$

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

С развитием статистических методов исследователи стали делать прогноз на основе рассчитываемой сопряженности признаков экстерьерера (выраженных в каких-либо единицах) и показателей продуктивности. В большинстве работ предлагается предсказывать продуктивность на основании корреляционной связи с каким-либо одним признаком экстерьерера [22–25], но использование традиционных моделей в селекционной племенной работе часто нецелесообразно [26]. Применяются и методы, основанные на индексной селекции с возможностью включения в индекс нескольких экстерьерных признаков [27] на основании высокой корреляции каждого с каким-либо продуктивным признаком. Сообщалось о недостатках использования одиночных экстерьерных признаков и преимуществах объединения оценок нескольких линейных признаков, при определенном сочетании которых заметно повышается значение коэффициента корреляции с показателем продуктивности [19].

В нашем случае исследована возможность прогнозирования сразу двух признаков продуктивности на основе корреляционной зависимости не с одним линейным признаком, а с целым комплексом. Величина коэффициента корреляции в этом случае была значительно выше значения аналогичного показателя с одиночным линейным признаком. Графики зависимости удою и выхода молочного жира от комплексного балла, полученные в результате реализации второго алгоритма составления комплекса, лучше подходят для прогнозирования продуктивности, чем первого. Рабочий диапазон составил 12 баллов (от 37 до 48). Эмпирические графики зависимостей изучаемых признаков продуктивности от предлагаемого общего комплекса очень схожи с теми, что были составлены для каждого случая в отдельности (по удою [19] и выходу молочного жира [20]). Это свидетельствует о реальности создания универсального комплекса для прогнозирования сразу двух, а возможно, и большего количества признаков продуктивности, что позволит упростить процесс

косвенной оценки будущей продуктивности, так как оба признака можно прогнозировать по одной балльной шкале комплекса.

Естественно, что комплекс признаков не обязательно должен быть ограничен только линейными признаками. Вполне логично включить в него и другие признаки (например, интерьерные), необходимо только подобрать такие, которые были бы связаны с прогнозируемым признаком, и решить вопрос приведения к единой шкале всех признаков комплекса. В нашем случае приведение к общей шкале потребовалось лишь для прогнозируемых признаков, а все линейные показатели экстерьерера изначально были приведены к одной шкале, поскольку их проявление оценивалось баллами в диапазоне от 1 до 9.

Дальнейшим направлением исследований в области исследования возможности прогнозирования молочной продуктивности по комплексу признаков экстерьерера мы видим применимость для животных с укороченной лактацией, повторяемость сопряженности по лактациям, изменение состава признаков комплекса для разных популяций и пород крупного рогатого скота молочного направления.

Учитывая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Реализована возможность конструирования комплекса линейных признаков для одновременного прогнозирования удою и выхода молочного жира первотелок за 305 дней лактации.
2. Показано, что комплекс, сформированный по алгоритму подбора признаков, максимально повышающих коэффициент корреляции с зависимым признаком, более предпочтителен, чем составленный на основе объединения признаков по ранжированным значениям коэффициентов корреляции.
3. При помощи рангового коэффициента корреляции определено, что связь общего нормализованного показателя удою и содержания молочного жира с комплексом линейных признаков в 1,73 и более раза выше, чем с каждым одиночным линейным признаком.

Библиографический список

1. Татаркина Н. И., Свяженина М. А., Пономарева Е. А. Применение экстерьерной оценки в селекции крупного рогатого скота голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90.
2. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L. F., Martin P., Baes C. F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, No. 12. Pp. 10251–10271. DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
3. Куликова С. Г., Богданова О. В., Гарт В. В., Петров А. Ф., Норкина В. М., Шатохин К. С., Шишкин М. А. Связь между признаками линейной оценки экстерьерера голштинских коров // Теория и практика современной аграрной науки: сборник VII национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2024. С. 389–392.
4. Богданова О. В., Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Амерханов Х. А., Нарожных К. Н., Петров А. Ф., Жигулин Т. А., Астафьев А. А. Различия между странами по признакам линейной оценки

экстерьера крупного рогатого скота голштинской породы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 8. С. 59–64. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59.

5. Батанов С. Д., Баранова И. А., Старостина О. С. Разработка методов определения комплексного индекса типа телосложения с целью раннего прогнозирования молочной продуктивности и определения живой массы крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307.

6. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V., Kulikova S. G., Zhigulin T. A. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection // Veterinary World. 2024. Vol. 17, No. 5. Pp. 1108–1118. DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.

7. Богданова О. В., Камалдинов Е. В., Куликова С. Г., Гарт В. В., Петров А. Ф., Нарожных К. Н., Жигулин Т. А. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 2 (67). С. 148–155. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-148-155.

8. Контэ А. Ф., Карликова Г. Г. Параметры изменчивости показателей телосложения и продуктивности голштинских коров в зависимости от уровня удоя // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 37–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-37-48.

9. Toghiani S., VanRaden P. M. National index correlations and actual vs expected use of foreign sires // Leeuwarden. 2021. Vol. 56. Pp. 52–59.

10. Xue X., Hu H., Zhang J., Ma Y., Han L., Hao F., Jiang Y., Ma Y. Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins // Animals. 2022. Vol. 13, No. 1. DOI: 10.3390/ani13010100.

11. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O., Kulikova S., Gart V., Petrov A. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2023. Vol. 24, No. 6. Pp. 521–529.

12. Ismael H., Janković D., Stanojević D., Bogdanović V. Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows // Revista Brasileira de Zootecnia. 2021. Vol. 50. DOI: 10.37496/rbz5020200121.

13. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies // Tropical Animal Health and Production. 2020. Vol. 52. Pp. 2221–2232. DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.

14. Цидик О. Н. Взаимосвязь молочной продуктивности с линейной оценкой экстерьера // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак почета“ государственная академия ветеринарной медицины». 2019. Т. 55, № 3. С. 158–162.

15. Ефимова Л. В., Кулакова Т. В., Иванова О. В., Иванов Е. А. Взаимосвязь между признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017. № 3 (44). С. 115–124.

16. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia // Veterinaria y Zootecnia. 2014. Vol. 8, No. 1. Pp. 35–47.

17. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, No. 6. Pp. 1286–1291.

18. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model // Journal of Dairy Science. 1992. Vol. 75, No. 2. Pp. 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

19. Гарт В. В., Куликова С. Г., Богданова О. В., Норкина В. М., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф. Полиномиальная сопряженная изменчивость признаков линейной оценки экстерьера и удоя высокопродуктивного голштинского скота // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 5. С. 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100.

20. Гарт В. В., Куликова С. Г., Нарожных К. Н., Камалдинов Е. В. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряженной изменчивости с линейными признаками // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4 (73). С. 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176.

21. Котеров А. Н., Ушенкова Л. Н., Зубенкова Э. С., Калинина М. В., Бирюков А. П., Ласточкина Е. М., Молодцова Д. В., Вайнсон А. А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Девяткина Г. С., Молчанова Н. В., Сельцов В. И., Сулима Н. И. Линейная оценка коров черно-пестрой породы и ее связь с молочной продуктивностью // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2010. № 2. С. 59–64.

23. Новиков А. В., Лешонок О. И. Взаимосвязь экстерьерера и молочной продуктивности коров-первотёлок // Агропродовольственная политика России. 2014. № 4 (28). С. 49–51.
24. Батанов С. Д., Шайдуллина М. М. Продуктивные качества и экстерьерные особенности коров чернопёстрой породы разных линий // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2019. Т. 239, № 3. С. 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35.
25. Новоселова К. С. Связь молочной продуктивности коров-первотёлок с экстерьером в СХПК-СХА (колхоз) «Первое Мая» // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 356–359.
26. Петров А. Ф., Камалдинов Е. В., Богданова О. В., Шатохин К. С., Ефремова О. В., Рогозин В. А. Роль фиксированных факторов в изменчивости удоя скота ирменского типа в условиях промышленного комплекса // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021. № 4 (61). С. 137–149. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149.
27. Романова Е. А., Тулинова О. В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155.

Об авторах:

Владимир Владимирович Гарт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135. E-mail: gvlvl@yandex.ru

Светлана Геннадьевна Куликова, доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363. E-mail: kulikovasg@yandex.ru

Евгений Варисович Камалдинов, доктор биологических наук, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282. E-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Кирилл Николаевич Нарожных, кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429. E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru

Алексей Федорович Петров, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. E-mail: alex@nsau.edu.ru

References

1. Tatarkina N. I., Svyazhenina M. A., Ponomareva E. A. The use of exterior assessment in the selection of Holstein cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (10): 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90. (In Russ.)
2. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L. F., Martin P., Baes C. F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017. 100 (12): 10251–10271. DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
3. Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Gart V. V., Petrov A. F., Norkina V. M., Shatokhin K. S., Shishkin M. A. The relationship between the traits of the linear estimation of the exterior of Holstein cows. *Theory and practice of modern agricultural science: collection of the VII national (all-Russian) scientific conference with international participation*. Novosibirsk, 2024. Pp. 389–392. (In Russ.)
4. Bogdanova O. V., Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Amerkhanov Kh. A., Narozhnykh K. N., Petrov A. F., Zhigulin T. A., Astafyev A. A. Differences between countries in terms of linear assessment of the conformation of Holstein cattle. *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2023; 37 (8): 59–64. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_59. (In Russ.)
5. Batanov S. D., Baranova I. A., Starostina O. S. Development of methods for determining a complex index of body type for the purpose of early forecasting of milk production and determining the live weight of cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; 1 (99): 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307. (In Russ.)
6. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V., Kulikova S. G., Zhigulin T. A. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection. *Veterinary World*. 2024; 17 (5): 1108–1118. DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.
7. Bogdanova O. V., Kamaldinov E. V., Kulikova S. G., Gart V. V., Petrov A. F., Narozhnykh K. N., Zhigulin T. A. Scientific and theoretical substantiation of the system of improving selection and breeding work in dairy

cattle breeding in the Novosibirsk region. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; 2: 149–155. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-149-155. (In Russ.)

8. Konte A. F., Karlikova G. G. Parameters of variability of indicators of physique and productivity of Holstein cows depending on the level of milk yield. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 6 (221): 37–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-37-48. (In Russ.)

9. Toghiani S., VanRaden P. M. National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires. *Leeuwarden*. 2021; 56: 52–59.

10. Xue X., Hu H., Zhang J., Ma Y., Han L., Hao F., Jiang Y., Ma Y. Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins. *Animals*. 2022; 13 (1). DOI: 10.3390/ani13010100.

11. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O., Kulikova S., Gart V., Petrov A. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023; 24 (6): 521–529.

12. Ismael H., Janković D., Stanojević D., Bogdanović V. Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2021; 50. DOI: 10.37496/rbz5020200121.

13. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies. *Tropical Animal Health and Production*. 2020; 52: 2221–2232. DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.

14. Tsidik O. N. Correlation of dairy productivity with linear exterior evaluation. “*Transactions of the educational establishment “Vitebsk the Order of “the Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine*”. 2019; 55 (3): 158–162. (In Russ.)

15. Efimova L. V., Kulakova T. V., Ivanova O. V., Ivanov E. A. Relation between linear assessment of exterior and cows’ milk productivity. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2017; 3 (44): 115–124. (In Russ.)

16. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*. 2014; 8 (1): 35–47.

17. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal’s conformation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020; 26 (6): 1286–1291.

18. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*. 1992; 75 (2): 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

19. Gart V. V., Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Norkina V. M., Kamaldinov E. V., Petrov A. F. Polynomial conjugate variability of traits of linear assessment of the exterior and milk yield of highly productive Holstein cattle. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; 5: 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100. (In Russ.)

20. Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Narozhnykh K. N. Early prediction of milk fat content in Holstein cattle based on correlated variability with linear traits. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 4 (73): 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-1764. (In Russ.)

21. Koterov A. N., Ushenkova L. N., Zubenkova E. S., Kalinina M. V., Biryukov A. P., Lastochkina E. M., Molodtsova D. V., Wainson A. A. Strength of Association. Report 2. Graduations of Relative Risk. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019; 64 (6): 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Devyatkina G. S., Molchanova N. V., Seltsov V. I., Sulima N. I. Linear estimation of cows of black-and-white breed and its correlation with dairy production. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2010; 2: 59–64.

23. Novikov A. V., Leshonok O. I. Relationship of the exterior and milk production of cows-heifers. *Russian Agricultural and Food Policy*. 2014; 4: 49–51.

24. Batanov S. D., Shaydullina M. M. Productive qualities and exterior features of black-and-white breeds cows of different lines. *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2019; 2399 (3): 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35. (In Russ.)

25. Novoselova K. S. The relationship of dairy productivity of first-time cows with the exterior in SKHPK-SKHA (kolkhoz) “Pervoye Maya”. *Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*. 2019; 21: 356–359. (In Russ.)

26. Petrov A. F., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Efremova O. V., Rogozin V. A. The role of fixed factors in the variability of milk yield in irmeni cattle under industrial complex conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2021; 4: 137–149, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149. (In Russ.)

27. Romanova E. A., Tulinova O. V. Breeding index modeling for airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; 1 (53): 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155. (In Russ.)

Authors' information:

Vladimir V. Gart, doctor of agricultural sciences, professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135.

E-mail: gvlvl@yandex.ru

Svetlana G. Kulikova, doctor of biological sciences, professor of veterinary genetics and biotechnology chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363.

E-mail: kulikovasg@yandex.ru

Evgeniy V. Kamaldinov, doctor of biological sciences, head of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282.

E-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Kirill N. Narozhnykh, candidate of biological sciences, associate professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429.

E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru

Aleksey F. Petrov, head of applied bioinformatics laboratory, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. *E-mail: alex@nsau.edu.ru*

Идентификация HBD-сегментов крупного рогатого скота голштинской породы

А. А. Зырянова^{1, 2✉}, А. А. Ярышкин¹, О. А. Быкова¹, О. А. Шевкунов¹, О. В. Костюнина¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: agata.lis.00.ru

Аннотация. Цель – исследование распределения HBD-сегментов среди различных пород крупного рогатого скота, включая голштинскую, черно-пеструю, тагильскую и другие, с акцентом на популяции Свердловской области. **Методы.** Были проведены оценка молекулярно-генетических исследований крови голштинского крупного рогатого скота Урала и сравнение результатов с другими породами. **Научная новизна.** Сегменты аутозиготности (HBD – Homozygous-by-Descent) представляют собой участки генома, унаследованные от общего предка через обоих родителей. Их накопление свидетельствует о снижении генетического разнообразия и повышении уровня инбридинга, что связано с риском проявления наследственных заболеваний и ухудшением продуктивных качеств животных. В условиях интенсивной селекции, особенно в молочном скотоводстве, мониторинг HBD-сегментов становится ключевым инструментом для управления генетическим здоровьем популяций. Свердловская область является одним из крупнейших центров молочного скотоводства в России, где доминирует голштинизированный черно-пестрый скот (около 600 тыс. голов). Формирование этой популяции сопровождалось многолетним прилитием генов голландских и голштинских пород, что могло привести к накоплению инбридинга. Изучение HBD-сегментов позволяет оценить историю селекции, выявить скрытые риски и оптимизировать программы разведения. **Результаты.** Экспериментальная группа коров голштинской породы уральского региона характеризуется преобладанием классов Rk_8–Rk_32, указывающих на инбридинг в пределах 3–5 поколений. Ярославская и тагильская породы продемонстрировали сегменты, связанные с предками 4–5 поколений назад, что отражает более древние генетические события. Коэффициент геномного инбридинга в популяции уральских голштинов равен 0,064. Согласно полученным данным, большее количество сегментов обнаружили на 1-й хромосоме, меньшее – на 29-й, а среднее количество SNP составило 37,1. Результаты подтверждают, что интенсивная селекция, особенно с использованием ограниченного числа производителей, ведет к накоплению HBD-сегментов. Это согласуется с глобальными тенденциями, где рост инбридинга коррелирует с сокращением генетического разнообразия. У голштинской породы высокая доля сегментов Rk_8–Rk_32 может быть связана с активным использованием импортных быков-производителей в последние десятилетия.

Ключевые слова: сегменты аутозиготности (HBD), инбридинг, голштинская порода уральского разведения, SNP, аутозиготность

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-76-10021.

Для цитирования: Зырянова А. А., Ярышкин А. А., Быкова О. А., Шевкунов О. А., Костюнина О. В. Идентификация HBD-сегментов крупного рогатого скота голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 915–925. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-915-925>.

Дата поступления статьи: 29.01.2025, **дата рецензирования:** 01.04.2025, **дата принятия:** 04.04.2025.

Identification of HBD segments in Holstein cattle

A. A. Zyryanova^{1,2✉}, A. A. Yaryshkin¹, O. A. Bykova¹, O. A. Shevkunov¹, O. V. Kostyunina¹

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: agata.lis.00.ru

Abstract. The purpose is to study the distribution of HBD segments among various cattle breeds, including Holstein, Black-and-White, Tagil and others, with an emphasis on the population of the Sverdlovsk region. **Methods.** An assessment of molecular genetic studies of the blood of Holstein cattle from the Urals was carried out and the results were compared with other breeds. **Scientific novelty.** Autozygosity segments (HBD – Homozygous-by-Descent) are parts of the genome inherited from a common ancestor through both parents. Their accumulation indicates a decrease in genetic diversity and an increase in the level of inbreeding, which is associated with the risk of hereditary diseases and deterioration in the productive qualities of animals. In conditions of intensive selection, especially in dairy cattle breeding, monitoring of HBD segments becomes a key tool for managing the genetic health of populations. The Sverdlovsk region is one of the largest centers of dairy cattle breeding in Russia, where Holsteinized black-and-white cattle dominate (about 600 thousand heads). The formation of this population was accompanied by a long-term influx of genes from Dutch and Holstein breeds, which could lead to the accumulation of inbreeding. The study of HBD segments allows us to evaluate the history of selection, identify hidden risks and optimize breeding programs. **Results.** The experimental group of Holstein cows from the Ural region is characterized by the predominance of the Rk_8–Rk_32 classes, indicating inbreeding within 3–5 generations. The Yaroslavl and Tagil breeds demonstrated segments associated with ancestors 4–5 generations ago, which reflects more ancient genetic events. The coefficient of genomic inbreeding in the Ural Holstein population is 0.064. According to the obtained data, the largest number of segments were found on 1st chromosome, the smallest on 29th and the average number of SNPs was 37.1. The results confirm that intensive selection, especially using a limited number of sires, leads to the accumulation of HBD segments. This is consistent with global trends, where increasing inbreeding correlates with a reduction in genetic diversity. In the Holstein breed, the high proportion of Rk_8–Rk_32 segments may be associated with the active use of imported sires in recent decades.

Keywords: autozygosity segments (HBD), inbreeding, Holstein breed of Ural breeding, SNP, autozygosity

Acknowledgments. The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation, project No. 22-76-10021.

For citation: Zyryanova A. A., Yaryshkin A. A., Bykova O. A., Shevkunov O. A., Kostyunina O. V. Identification of HBD segments in Holstein cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 915–925. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-915-925>. (In Russ.)

Date of paper submission: 29.01.2025, **date of review:** 01.04.2025, **date of acceptance:** 04.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Сегменты аутозиготности (HBD – Homozygous-by-Descent) являются участками ДНК, где обе копии хромосомы идентичны друг другу. Это свидетельствует о наследовании одного и того же аллеля от общего предка через обоих родителей. Таким образом, в популяции с высоким уровнем инбредности возрастает риск проявления генетически детерминированных заболеваний из-за снижения генетического разнообразия [1]. Исследование сегментов HBD в селекционных программах крупного рогатого скота играет важную роль, так как помогает выявлять уровень инбридинга, генетическое разнообразие и выявление рецессивных заболеваний. [2]. Анализ сегментов аутозиготности помога-

ет определить степень родства между животными. Чем больше сегментов HBD, тем выше вероятность инбридинга [3].

Инбридинг может быть связан с негативными эффектами, например рецессивными генетическими дефектами и депрессией инбридинга, в связи с чем происходит снижение жизнеспособности у инбредных животных. Такой крупный рогатый скот может также демонстрировать снижение роста, продуктивных и репродуктивных особенностей, также снижается резистентность организма к различным заболеваниям. Исключение животных с критическим уровнем HBD-сегментов из разведения поможет зоотехникам-селекционерам снизить риски рецессивных заболеваний [4–8]. В молоч-

ном скотоводстве инбридинг распространен из-за использования ограниченного количества лучших быков-производителей. С появлением высокоточных современных технологий исследования генома животных значительно упрощается оценка инбридинга [5]. Для определения сегментов HBD используются молекулярно-генетические методы, например исследование однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Геномные методы исследования наиболее точно отражают реальный инбридинг в популяции. HBD-сегменты позволяют провести анализ временных рамок инбридинга. Анализ HBD открывает возможность оценки уровня реализованного инбридинга, в отличие от прогнозов по родословным [6; 9; 10].

В исследованиях Solé M., Gori A. S., Faux P. C соавторами [7] проведена оценка и разделение по классам индивидуальных уровней геномного инбридинга в популяции бельгийского голубого мясного скота. Классы более длинных сегментов HBD составляли меньшую долю от общего количества HBD, но при этом авторы наблюдали большее различие между особями. Например, коэффициент инбридинга, соответствующий HBD-классам с $R_k \leq 8$, находился в диапазоне от 0,000 до 0,137. У быков, дата рождения которых составляла с 1980 по 2010 год, процент сегментов в геноме повысился примерно с 28 до 31 %. Однако тенденция для более поздних классов $R_k \leq 32$ оказалась более выраженной, от 0 до 6 % (то есть +0,20 % в год). У быков, родившихся до 1980 года, по сравнению с современными быками авторы наблюдали мало признаков недавней аутозиготности [7].

Зарубежными учеными проведено исследование на 14 205 коровах бельгийской голубой породы, фенотипированных по 11 линейным признакам, которые связаны с телосложением. Авторами были рассчитаны оценки F на основе родословной (F_{PED}), корреляции между объединяющимися гаметами (F_{UNI}), геномной матрицы родства (F_{GRM}), избыточной гомозиготности (F_{HET}) и сегментов гомозиготности по происхождению (HBD, F_{HBD}). Результаты показали, что оценки F_{UNI} и F_{GRM} явились наиболее чувствительными к частотам аллелей, а F_{HET} и F_{HBD} более устойчивыми. Значимое снижение жизнеспособности из-за влияния инбридинга обнаружено для четырех фенотипических признаков, связанных с высотой и длиной тела. Относительно классификации HBD-сегментов по возрастным классам ученые определили, что наличие предков до 15 поколений сильнее связано с инбредной депрессией, чем более древние. Так, например, недавние классы (длинные сегменты, $R_c < 64$) сильнее влияли на инбредную депрессию. Для них оценки эффектов составляли < -20 , тогда как для класса $R_c = 64$ эффект снизился до $-6,75$, а для древних классов ($R_c \geq 64$) приблизился к нулю и был статистически незначим.

Исследователи пришли к выводу, что мутационная нагрузка снижается с возрастом гаплотипов. Таким образом, необходимо учитывать в селекционных планах уровни недавнего инбридинга [8].

На территории Свердловской области в молочном скотоводстве наиболее широко для разведения используют крупный рогатый скот голштинской породы, ранее известный как голштинизированный черно-пестрый скот [9]. В Уральском регионе насчитывает около 600 тысяч голов [10]. В процессе формирования данной популяции прослеживается несколько этапов миграции генов, которые охватывают несколько центров селекции. Улучшение уральского черно-пестрого скота в течение 20 лет начиная с 1965 года проводили посредством прилития крови голландского скота и путем межпородного скрещивания с голштинскими быками-производителями [9; 11]. В целом в формировании современного крупного рогатого скота молочного направления продуктивности в регионе принимали участие тагильская, голландская, черно-пестрая и голштинская породы [12].

В данной статье проведен анализ сегментов аутозиготности нескольких пород крупного рогатого скота: голштинской, черно-пестрой, тагильской, истобенской, ярославской, холмогорской, красно-пестрой и голштинские коровы уральского разведения. Наибольшее внимание было уделено популяции коров Свердловской области.

Методология и методы исследования (Methods)

Для анализа использовались данные молекулярно-генетических исследований, включая анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNP).

Геномная ДНК выделена из образцов крови отобранных от опытных животных голштинских коров Урала в количестве 698 голов. Также исследование охватило следующие породы: голштинскую, черно-пеструю, тагильскую, истобенскую, ярославскую, холмогорскую, красно-пеструю, информация по которым была заимствована из репозитория Dryad [13]. Данные по голштинской красно-пестрой породе отслеживались на количестве 50 голов, черно-пестрой – 24, истобенской – 5, голштинской черно-пестрой – 50, холмогорской – 34, ярославской и тагильской – по 19 животных. Полногеномное генотипирование отобранных образцов и исследование SNP-полиморфизмов проведены методом полногеномного сканирования с использованием чипов Illumina Bovine SNP50v3 (Illumina, США). Данные генотипы интерпретированы в GenomeSTUDIO v2 (Illumina, San Diego, CA, USA). Контроль качества и статистический анализ полученных данных осуществлены в программе Plink 1.9. С использованием пакета RZooRoH v.0.3.0.74 [14–19] идентифицированы гомозиготные по происхождению (HBD) и не-HBD сегменты, позволяющие лучше оценить текущий уровень инбридинга, с классификацией

сегментов HBD по возрастным классам. Сегменты HBD классифицировались по длине, соответствующей поколениям предков (например, Rk_8 – предки четвертого поколения). Пакет RZooRoH v.0.3.0.74 основан на скрытой модели Маркова [20–22].

Результаты (Results)

Выполнен анализ сегментов HBD в восьми группах животных различных пород. HBD-сегменты классифицируют по возрасту. Недавние сегменты аутозиготности указывают на наличие общих предков в пределах 15 поколений. Древние сегменты являются короткими и связаны с дальними предками, жившими десятки и сотни поколений назад. Недавние сегменты аутозиготности несут опасность из-за мутационной нагрузки на животное. Это связано с тем, что вредные рецессивные аллели в недавних сегментах еще не были устранены естественным отбором. На рис. 1 показан вклад различных HBD-сегментов аутозиготности на примере 8 пород крупного рогатого скота. В группе истобенской породы класс с коэффициентом Rk_8 внес наибольший вклад в реализованную аутозиготность, что соответствует предкам четвертого поколения назад. У экспериментальной группы, черно-пестрой, холмогорской, голштинской черно-пестрой и голштинской красно-пестрой пород скота наибольший вклад внесли классы Rk_8-Rk_32. Ярославская и

тагильская породы отличились сегментами, которые указывают на наличие предков 8–16 поколений назад. В целом распределение по классам HBD в экспериментальной группе коров и других пород, сравнение носит схожий характер.

В таблице 1 представлены количество и длина в мегабайтах сегментов HBD в разрезе 8 изучаемых пород.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что у всех популяций большее количество SNP сосредоточено в классах R_8. Также длина SNP преобладает в соответствующих группах животных. Для экспериментальной уральской группы коров характерно распределение классов HBD от R_8 до R_32. Наибольшее количество SNP выявлено у класса R_8, равное 57,49, с длиной 17502717,06 Мб, наименьшее – у класса R_32, составляющее 24,54 SNP длиной 5485643,38 Мб. Самое большое количество SNP и их длина представлены у черно-пестрой породы крупного рогатого скота: 67,69 и 20197825,31 Мб. Меньшее количество SNP с меньшей длиной практически у всех пород встречается у классов R_32. Исключением является скот истобенской породы, у которого присутствует только класс R_8. Самое меньшее количество SNP – у голштинской черно-пестрой породы, равное 22,60, средняя длина которых равна 5276265,79.

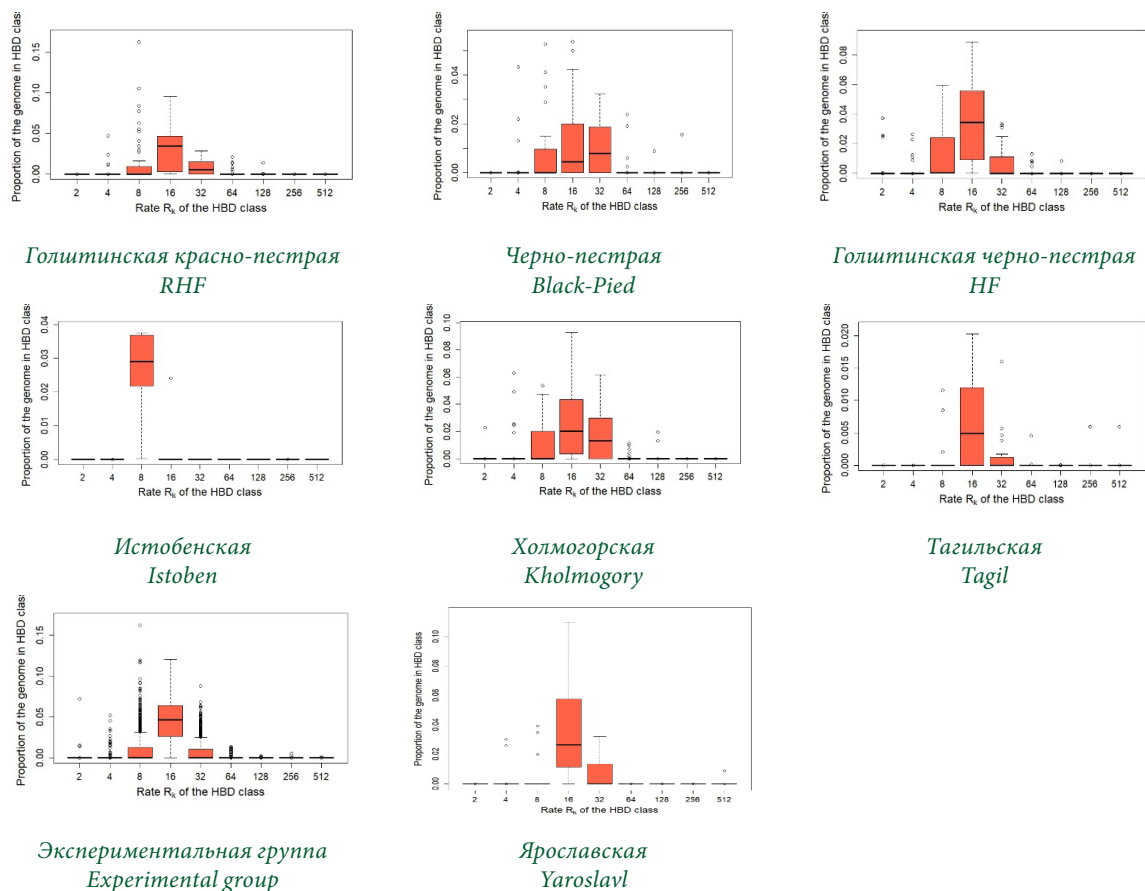


Рис. 1. Аутозиготность крупного рогатого скота различных пород в зависимости от скорости Rk класса HBD
Fig. 1. Autozygosity of cattle of different breeds depending on the Rk rate of the HBD class

Таблица 1

Количество и длина сегментов HBD в разрезе изучаемых пород

Порода	Класс	Поколение предков	Среднее количество SNP	Длина, Мб
Экспериментальная группа	R_8	4	57,49	17502717,06
	R_16	8	35,44	9555595,02
	R_32	16	24,54	5485643,38
Голштинская красно-пестрая	R_8	4	60,92	17117247,17
	R_16	8	36,10	9246703,72
	R_32	16	23,83	5231946,35
Черно-пестрая	R_8	4	67,69	20197825,31
	R_16	8	35,13	9351635,18
	R_32	16	25,86	5750181,18
Истобенская	R_8	4	58,94	15046912,94
Голштинская черно-пестрая	R_8	4	55,62	16660328,57
	R_16	8	35,11	9197519,92
	R_32	16	22,60	5276265,79
Холмогорская	R_8	4	55,55	16172205,58
	R_16	8	36,85	9658984,74
	R_32	16	25,91	5944464,07
Ярославская	R_16	8	40,06	10607475,08
	R_32	16	24,93	5347661,78
Тагильская	R_16	8	35,37	10529633,96
	R_32	16	31,40	5765416,00

Table 1

Number and length of HBD segments in the studied rocks

Breed	Class	The ancestral generation	Average number of SNPs	Length, Mb
Experimental group	R_8	4	57,49	17502717.06
	R_16	8	35,44	9555595.02
	R_32	16	24,54	5485643.38
RHF	R_8	4	60,92	17117247.17
	R_16	8	36,10	9246703.72
	R_32	16	23,83	5231946.35
Black-Pied	R_8	4	67,69	20197825.31
	R_16	8	35,13	9351635.18
	R_32	16	25,86	5750181.18
Istoben	R_8	4	58,94	15046912.94
HF	R_8	4	55,62	16660328.57
	R_16	8	35,11	9197519.92
	R_32	16	22,60	5276265.79
Kholmogory	R_8	4	55,55	16172205.58
	R_16	8	36,85	9658984.74
	R_32	16	25,91	5944464.07
Yaroslavl	R_16	8	40,06	10607475.08
	R_32	16	24,93	5347661.78
Tagil	R_16	8	35,37	10529633.96
	R_32	16	31,40	5765416.00

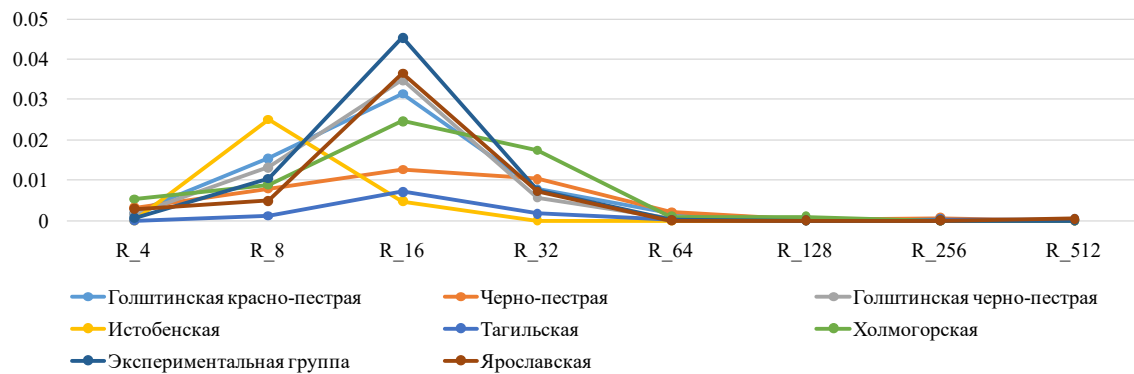


Рис. 2. Различия в породных уровнях аутозиготности

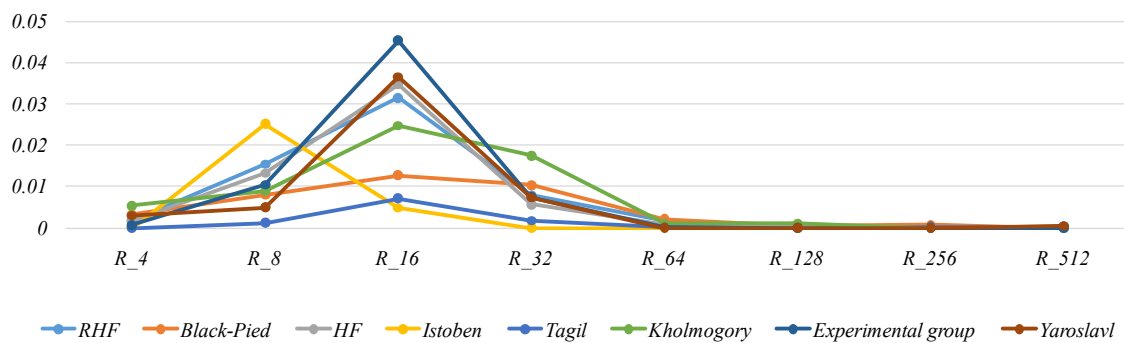


Fig. 2. Differences in breed levels of autozygosity

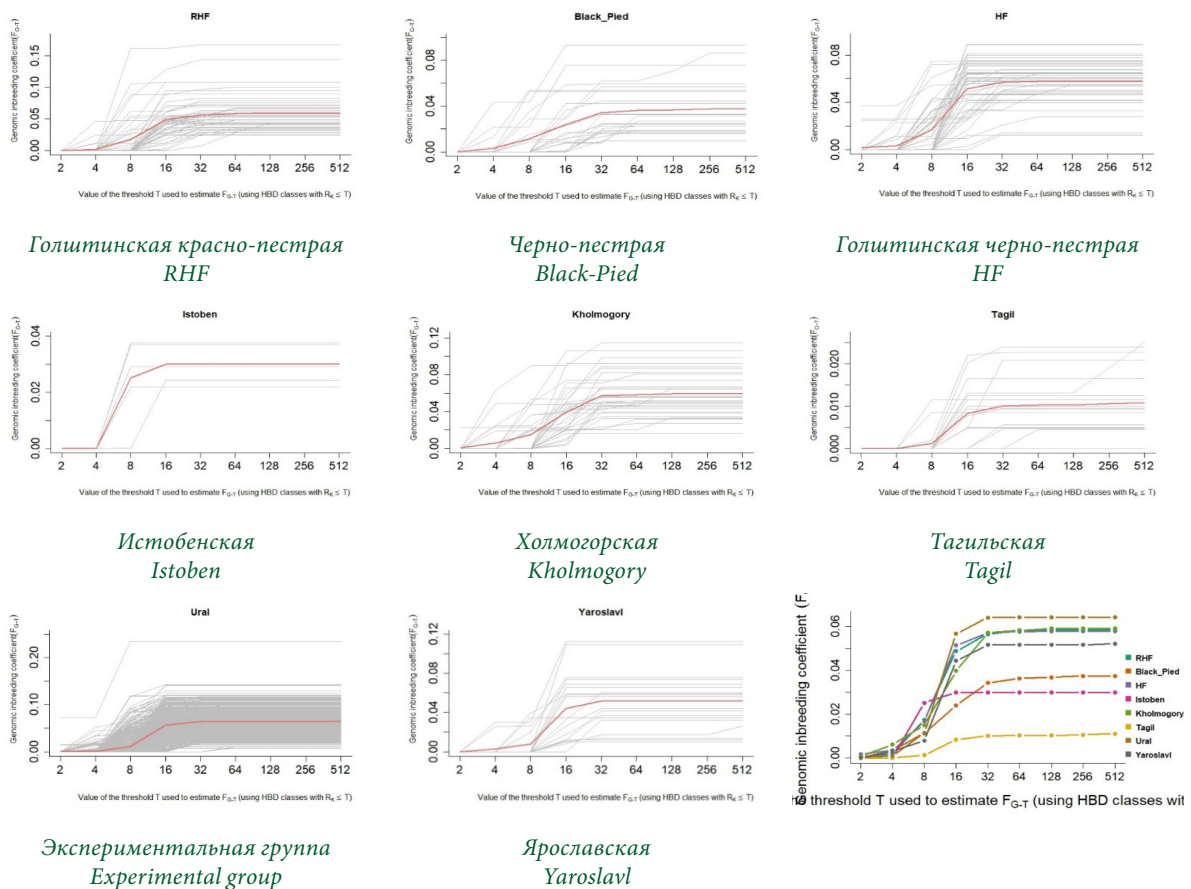


Рис. 3. Разделение генома в разных классах гомозиготного происхождения (HBD) у изучаемых пород
Fig. 3. Genome segregation in different homozygous descent (HBD) classes in the studied breeds

Таблица 2

Суммарная статистика коэффициента геномного инбридинга

Статистические показатели	Голштинская красно-пестрая	Черно-пестрая	Голштинская черно-пестрая	Истобенская	Холмогорская	Тагильская	Экспериментальная группа	Ярославская
Минимум	0,024	0,010	0,012	0,000	0,017	0,000	0,007	0,010
1 квартиль	0,036	0,019	0,048	0,008	0,044	0,005	0,048	0,033
Медиана	0,053	0,029	0,061	0,018	0,051	0,009	0,063	0,056
Среднее	0,058	0,036	0,058	0,025	0,058	0,010	0,064	0,052
3 квартиль	0,069	0,053	0,070	0,034	0,072	0,013	0,079	0,067
Максимум	0,167	0,093	0,089	0,143	0,115	0,024	0,234	0,112

Table 2

Summary statistics of the genomic inbreeding coefficient

Statistical indicators	RHF	Black-Pied	HF	Istoben	Kholmogory	Tagil	Experimental group	Yaroslavl
Minimum	0.024	0.010	0.012	0.000	0.017	0.000	0.007	0.010
1 st quartile	0.036	0.019	0.048	0.008	0.044	0.005	0.048	0.033
Median	0.053	0.029	0.061	0.018	0.051	0.009	0.063	0.056
Mean	0.058	0.036	0.058	0.025	0.058	0.010	0.064	0.052
3 rd quartile	0.069	0.053	0.070	0.034	0.072	0.013	0.079	0.067
Maximum	0.167	0.093	0.089	0.143	0.115	0.024	0.234	0.112

На рис. 2 рассмотрим вариации в индивидуальных уровнях аутозиготности, которые накоплены во всех классах HBD. Можем наблюдать различный вклад инбридинга у разных пород. Исследуемая группа коров характеризовалась самыми высокими уровнями геномного инбридинга по классам HBD. Животные тагильской породы обладают наименьшим уровнем инбридинга.

На рис. 3 представлено разделение генома в разных классах гомозиготного происхождения. Можем наблюдать наибольший вклад инбридинга в уральской экспериментальной группе. Обратная ситуация у тагильского крупного рогатого скота.

В таблице 2 представлена статистика коэффициента геномного инбридинга. Отметим, что самым высоким уровнем геномного инбридинга в исследуемых популяциях характеризовалась экспериментальная группа голштинских коров. Коэффициент составил 0,064. Самый низкий уровень инбридинга оказался у крупного рогатого скота тагильской породы: 0,010. Голштинской красно-пестрой, черно-пестрой и холмогорской породам животных соответствует уровень инбридинга 0,058.

В таблице 3 показана информация об обнаруженных в уральской группе голштинских животных сегментах HBD. В совокупности идентифи-

цировано 9120 сегментов, средняя длина которых составляет 10148026 п. о.

Наибольшее количество HBD сегментов обнаружено на 1-й хромосоме (538) со средней длиной 11301878. Среднее количество SNP на данной хромосоме составляет 39,2, классы HBD – от 3 до 5. Меньше всего HBD-сегментов оказалось на 29-й хромосоме (187). Средняя длина равна 9231989, количество SNP – 34,9, классы HBD – от 2 до 5. В общем среднее количество сегментов составило 9120 со средней длиной 10148026 и среднее количество SNP 37,1 с классами HBD от 1 до 7. В зависимости от хромосомы среднее количество SNP варьировалось от 32,3 до 41,4.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Исследование демонстрирует, что анализ HBD-сегментов представляет собой эффективный метод оценки генетического благополучия популяций, особенно в условиях интенсивного животноводства. В областях, где акцент на разведении высокопродуктивных молочных пород создает риски накопления скрытого инбридинга, применение этого подхода становится критически важным. Это связано с тем фактом, что инбридинг приводит к снижению продуктивности из-за инбредной депрессии. То есть могут проявиться рецессивные мутации,

снижающие молочную и репродуктивную продуктивность животных. Выявление участков генома с высокой гомозиготностью позволяет не только оценить степень генетического однообразия, но и прогнозировать потенциальные риски, связанные с инбредной депрессией – снижением жизнеспособности, плодовитости или устойчивости к заболеваниям.

В исследовании выявлено, что в экспериментальной группе коров наибольший вклад в аутозиготность внесли длинные и средние сегменты Rk_8-Rk_32, соответствующие наличию общих предков около 4–16 поколений назад. В целом распределение по классам HBD носит схожий характер у черно-пестрой, холмогорской, голштинской и голштинской красно-пестрой пород. У всех рассма-

триваемых пород наибольшее количество SNP и их длина расположены в классах R_8, наименьшее – у классов R_32, что составляет 67,69 (20197825,31) и 22,60 (5276265,79) соответственно. Самым высоким уровнем геномного инбридинга среди изучаемых популяций характеризовалась уральская экспериментальная группа коров, коэффициент которого равен 0,064. У данных животных идентифицировано 9120 сегментов со средней длиной 10148026 п. о. Наибольшее количество HBD-сегментов (538) сосредоточено на 1-й хромосоме, наименьшее – на 29-й хромосоме в количестве 187. Среднее количество SNP равно 37,1. В зависимости от хромосомы среднее количество SNP варьировалось от 32,3 до 41,4.

Таблица 3
Количество идентифицированных HBD сегментов в зависимости от хромосомы в экспериментальной группе животных

Хромосома	Количество сегментов	Средняя длина	Среднее количество SNP	Классы HBD
1	538	11301878	39,2	3–5
2	476	12938097	36,1	1–5
3	445	10972100	37,5	1–5
4	402	10512343	39,0	2–5
5	414	11718776	38,1	2–5
6	462	10281383	38,5	1–5
7	377	12486793	37,7	2–5
8	442	11795123	39,6	2–5
9	325	10305459	39,2	2–5
10	325	12104881	37,3	2–5
11	396	10585996	41,4	2–5
12	311	9434069	37,7	2–5
13	349	9145429	33,5	3–5
14	275	9949835	32,3	2–5
15	308	8496026	37,9	2–6
16	258	11684843	35,2	3–5
17	325	8630762	34,5	2–5
18	264	7212410	36,3	2–5,7
19	276	7349848	33,5	3–5
20	216	11176207	35,1	1–5
21	253	9404263	38,1	2–5
22	198	8510912	36,3	3–5
23	245	7878887	35,8	2–5
24	229	9790623	37,7	2–5
25	192	7304499	35,0	3–5
26	202	9173140	38,9	1,3–6
27	226	6860344	35,0	3–5
28	203	8763853	37,1	2–5
29	187	9231989	34,9	2–5
Среднее	9120	10148026	37,1	1–7

Table 3
The number of identified HBD segments depending on the chromosome in the experimental group of animals

Chromosome	Number of segments	Average length	Average number of SNPs	HBD classes
1	538	11301878	39.2	3–5
2	476	12938097	36.1	1–5
3	445	10972100	37.5	1–5
4	402	10512343	39.0	2–5
5	414	11718776	38.1	2–5
6	462	10281383	38.5	1–5
7	377	12486793	37.7	2–5
8	442	11795123	39.6	2–5
9	325	10305459	39.2	2–5
10	325	12104881	37.3	2–5
11	396	10585996	41.4	2–5
12	311	9434069	37.7	2–5
13	349	9145429	33.5	3–5
14	275	9949835	32.3	2–5
15	308	8496026	37.9	2–6
16	258	11684843	35.2	3–5
17	325	8630762	34.5	2–5
18	264	7212410	36.3	2–5,7
19	276	7349848	33.5	3–5
20	216	11176207	35.1	1–5
21	253	9404263	38.1	2–5
22	198	8510912	36.3	3–5
23	245	7878887	35.8	2–5
24	229	9790623	37.7	2–5
25	192	7304499	35.0	3–5
26	202	9173140	38.9	1,3–6
27	226	6860344	35.0	3–5
28	203	8763853	37.1	2–5
29	187	9231989	34.9	2–5
Average	9120	10148026	37.1	1–7

Сегменты аутозиготности являются мощным инструментом для анализа генетического здоровья популяций голштинского крупного рогатого скота Свердловской области. Изучение HBD-сегментов позволяет точно производить оценку инбридинга, предотвращать инбредную депрессию и генетические дефекты, оптимизировать селекционные программы. Перспективным шагом станет интеграция HBD-анализа с уже применяемыми в регионе технологиями геномной селекции. Оптимизация подбора пар с учетом распределения HBD-сегментов

сохранит генетическое разнообразие. Контроль недавнего инбридинга критически необходим в отличие от древних HBD-сегментов. Совмещение данных о маркерах, ассоциированных с информацией о гомозиготных участках, позволит создавать сбалансированные племенные индексы, учитывающие как продуктивный потенциал, так и генетические риски. Проведение подобных исследований не только укрепит конкурентоспособность местного молочного скотоводства, но и станет моделью для других регионов, сталкивающихся с аналогичными вызовами.

Библиографический список

1. Ceballos F., Joshi P., Clark D., et al. Runs of homozygosity: windows into population history and trait architecture // *Nature Reviews Genetics*. 2018. Vol. 4. Pp. 220–234. DOI: 10.1038/nrg.2017.109.
2. Bertrand A. R., Kadri N. K., Flori L., Gautier M., Druet T. RZooRoH: an R package to characterize individual genomic autozygosity and identify homozygous-by-descent segments // *Methods in Ecology and Evolution*. 2019. Vol. 10. Pp. 860–866. DOI: 10.1111/2041-210X.13167.
3. Юдин В. М., Тучкова У. М., Васильева М. И. и др. Влияние инбридинга на показатели продуктивного долголетия коров // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 2 (70). С. 40–48. DOI: 10.48012/1817-5457_2022_2_40.
4. Шаталина О. С. Генетическая структура популяции голштинизированного черно-пестрого скота по микросателлитным локусам // *Генетика*. 2021. Т. 57, № 2. С. 205–213. DOI: 10.31857/S0016675821020090.
5. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., et al. Data from: genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds // *Dryad*. 2017. DOI: 10.5061/dryad.68hv7.
6. Gorssen W., Meyermans R., Janssens S., Buys N. A publicly available repository of ROH islands reveals signatures of selection in different livestock and pet species // *Genetics Selection Evolution*. 2021. Vol. 53 (1). Article number 2. DOI: 10.1186/s12711-020-00599-7.
7. Maltecca C., Tiezzi F., Cole J. B., Baes C. Symposium review: exploiting homozygosity in the era of genomics – selection, inbreeding, and mating programs // *Journal of Dairy Science*. 2020. No. 103 (6). Pp. 5302–5313. DOI: 10.3168/jds.2019-17846.
8. Naji M. M., Gualdrón Duarte J. L., Forneris N. S., Druet T. Inbreeding depression is associated with recent homozygous-by-descent segments in Belgian Blue beef cattle // *Genetics Selection Evolution*. 2024. No. 56 (1). Article number 10. DOI: 10.1186/s12711-024-00878-7.
9. Сермягин А. А., Быкова О. А., Лоретц О. Г., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Оценка геномной вариативности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа и RON-паттернов // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. № 2. С. 257–274. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus.
10. Smaragdov M. G. Identification of homozygosity-rich regions in the Holstein genome // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023. Vol. 27, No. 5. Pp. 471–479. DOI: 10.18699/VJGB-23-57.
11. Филипенкова Г. В. Использование ДНК-маркеров в селекционном процессе в молочном скотоводстве // *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2020. № 34 (39). С. 27–30.
12. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Сермягин А. А. Параметры генетической взаимосвязи по STR- и SNP-маркерам недостатков экстерьера дочерей голштинских быков-производителей с уровнем гомозиготности и геномного инбридинга отцов // *Достижения науки и техники АПК*. 2024. Т. 38, № 2. С. 46–52. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_46.
13. Druet T., Gautier M. A model-based approach to characterize individual inbreeding at both global and local genomic scales // *Molecular Ecology*. 2017. Vol. 26. Pp. 5820–5841. DOI: 10.1111/mec.14324.
14. Solé M., Gori A. S., Faux P., et al. Age-based partitioning of individual genomic inbreeding levels in Belgian Blue cattle // *Genetics Selection Evolution*. 2017. No. 49. Article number. 92. DOI: 10.1186/s12711-017-0370-x.
15. Писаренко А. В. Популяционный мониторинг генофондных пород крупного рогатого скота как основа сохранения биоразнообразия // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 1 (70). С. 261–270. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-261-270.
16. Orlov Y. L., Galieva A. G., Orlova N. G., Ivanova E. N., Mozyleva Y. A., Anashkina A. A. Reconstruction of gene network associated with Parkinson disease for gene targets search // *Biomed Khim*. 2021. No. 67 (3). Pp. 222–230. DOI: 10.18097/PBMC20216703222.

17. Mezzavilla M., Navarra C. O., Lenarda R., Gasparini P., Bevilacqua L., Robino A. Runs of homozygosity are associated with staging of periodontitis in isolated populations // *Human Molecular Genetics*. 2021. Vol. 30, No. 12. Pp. 1154–1159. DOI: 10.1093/hmg/ddab085.
18. Falchi L., Cesarani A., Mastrangelo S., Senczuk G., Portolano B., Pilla F., Macciotta N.P.P. Analysis of runs of homozygosity of cattle living in different climate zones // *Journal of Animal Science*. 2023. No. 101. DOI: 10.1093/jas/skad061.
19. Кожуховская В. В., Зайцева О. С., Мартынов Н. А., Зубарева В. Д. Летальные гаплотипы в популяции голштинского крупного рогатого скота и их роль в воспроизводстве (обзор) [Электронный ресурс] // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. № 3. С. 155–166. URL: <http://gk.fncbst.ru/wp-content/uploads/2021/10/104.3.15.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).
20. Van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., Bren M. Compositions: compositional data analysis [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=compositions> (дата обращения: 20.04.2025).
21. Meyermans R., Gorssen W., Buys N., Janssens S. How to study runs of homozygosity using PLINK? A guide for analyzing medium density SNP data in livestock and pet species // *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21. Article number 94. DOI: 10.1186/s12864-020-6463-x.
22. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.r-project.org> (дата обращения: 20.04.2025).

Об авторах:

Анастасия Андреевна Зырянова, аспирант кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; младший научный сотрудник отдела животноводства и генетических исследований, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090. E-mail: agata.lis.00@mail.ru

Андрей Александрович Ярышкин, научный сотрудник, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID 777264. E-mail: x2580x@yandex.ru

Ольга Александровна Быкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503. E-mail: olbyk75@mail.ru

Олег Александрович Шевкунов, специалист по РИНЦ, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. E-mail: Xoshyn@gmail.com

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. E-mail: kostolan@yandex.ru

References

1. Ceballos F., Joshi P., Clark D. et al. Runs of homozygosity: windows into population history and trait architecture. *Nature Reviews Genetics*. 2018; 4: 220–234. DOI: 10.1038/nrg.2017.109.
2. Bertrand A. R., Kadri N. K., Flori L., Gautier M., Druet T. RZooRoH: an R package to characterize individual genomic autozygosity and identify homozygous-by-descent segments. *Methods in Ecology and Evolution*. 2019; 10: 860–866. DOI: 10.1111/2041-210X.13167.
3. Yudin V. M., Tuchkova U. M., Vasilyeva M. I., et al. The effect of inbreeding on indicators of productive longevity of cows. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2022; 2 (70): 40–48. DOI: 10.48012/1817-5457_2022_2_40. (In Russ.)
4. Shatalina O. S., Tkachenko I. V., Yaryshkin A. A. Genetic structure of the population of Holstein Black-and-White cattle by microsatellite loci. *Russian Journal of Genetics*. 2021; 57 (2): 205–213. DOI: 10.31857/S0016675821020090. (In Russ.)
5. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., et al. Data from: genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Dryad*. 2017. DOI: 10.5061/dryad.68hv7. (In Russ.)
6. Gorssen W., Meyermans R., Janssens S., Buys N. A publicly available repository of ROH islands reveals signatures of selection in different livestock and pet species. *Genetics Selection Evolution*. 2021; 53 (1): 2. DOI: 10.1186/s12711-020-00599-7.
7. Maltecca C., Tiezzi F., Cole J.B., Baes C. Symposium review: exploiting homozygosity in the era of genomics – selection, inbreeding, and mating programs. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103 (6): 5302–5313. DOI: 10.3168/jds.2019-17846.

8. Naji M. M., Gualdrón Duarte J. L., Forneris N. S., Druet T. Inbreeding depression is associated with recent homozygous-by-descent segments in Belgian Blue beef cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2024; 56 (1): 10. DOI: 10.1186/s12711-024-00878-7.
9. Sermyagin A. A., Bykova O. A., Loretts O. G., Kostyunina O. V., Zinovyeva N. A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized russian black-and-white cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology*. 2020; 2: 257–274. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus. (In Russ.)
10. Smaragdov M. G. Identification of homozygosity-rich regions in the Holstein genome. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023; 27 (5): 471–479. DOI: 10.18699/VJGB-23-57.
11. Filipenkova G. V. Use of DNA markers in the selection process in dairy cattle breeding. *Herald of Russian State Agrarian Correspondence University*. 2020; 34 (39): 27–30. (In Russ.)
12. Nedashkovskiy I. S., Konte A. F., Sermyagin A. A. Parameters of genetic correlation by STR and SNP markers of defects in the exterior of daughters of Holstein sires with the level of homozygosity and genomic inbreeding of fathers. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2024; 38 (2): 46–52. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_46. (In Russ.)
13. Druet T., Gautier M. A model-based approach to characterize individual inbreeding at both global and local genomic scales. *Molecular Ecology*. 2017; 26: 5820–5841. DOI: 10.1111/mec.14324.
14. Solé M., Gori AS., Faux P., et al. Age-based partitioning of individual genomic inbreeding levels in Belgian Blue cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2017; 49: 92. DOI: 10.1186/s12711-017-0370-x.
15. Pisarenko A. V. Population monitoring of gene pool breeds of cattle as a basis for biodiversity conservation. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 1: 261–270. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-261-270. (In Russ.)
16. Orlov Y. L., Galieva A. G., Orlova N. G., Ivanova E. N., Mozyleva Y. A., Anashkina A. A. Reconstruction of gene network associated with Parkinson disease for gene targets search. *Biomed Khim*. 2021; 67 (3): 222–230. DOI: 10.18097/PBMC20216703222.
17. Mezzavilla M., Navarra C. O., Lenarda R., Gasparini P., Bevilacqua L., Robino A. Runs of homozygosity are associated with staging of periodontitis in isolated populations. *Human Molecular Genetics*. 2021; 30 (12): 1154–1159. DOI: 10.1093/hmg/ddab085.
18. Falchi L., Cesarani A., Mastrangelo S., Senczuk G., Portolano B., Pilla F., Macciotta N.P.P. Analysis of runs of homozygosity of cattle living in different climate zones. *Journal of Animal Science*. 2023; 101. DOI: 10.1093/jas/skad061.
19. Kozhukhovskaya V. V., Zaytseva O. S., Martynov N. A., Zubareva V. D. Lethal haplotypes in the population of the holstein cattle and their role in reproduction (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 3: 155–166. (In Russ.)
20. Van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., Bren M. *Compositions: Compositional Data Analysis* [Internet]. 2023 [cited 2025 Apr. 20]. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=compositions>.
21. Meyermans R., Gorssen W., Buys N., Janssens S. How to study runs of homozygosity using PLINK? A guide for analyzing medium density SNP data in livestock and pet species. *BMC Genomics*. 2020; 94. DOI: 10.1186/s12864-020-6463-x.
22. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria [Internet]. 2022 [cited 2025 Apr 10]; Available from: <https://www.r-project.org>.

Authors' information:

Anastasiya A. Zyryanova, postgraduate of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; Junior researcher at the department of animal husbandry and genetic research, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090. *E-mail: agata.lis.00@mail.ru*

Andrey A. Yaryshkin, researcher, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID 777264. *E-mail: x2580x@yandex.ru*

Olga A. Bykova, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503. *E-mail: olbyk75@mail.ru*

Oleg A. Shevkunov, RSCI specialist, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. *E-mail: Xoshyn@gmail.com*

Olga V. Kostyunina, doctor of biological sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. *E-mail: kostolan@yandex.ru*

Эффективность скармливания кормовой фитодобавки в составе комбикормов для цыплят-бройлеров

Е. В. Лепихина[✉], Н. А. Морозков, И. Н. Жданова, Н. В. Авдеев

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия

[✉]E-mail: elene831@mail.ru

Аннотация. Цель данного исследования заключается в анализе воздействия различных доз кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной (*Rhaphonticum carthamoides*), входящей в состав комбикормов, на баланс усвоения азота, кальция и фосфора, а также на интенсивность роста цыплят-бройлеров. **Методы.** Исследование проведено на 140 цыплятах-бройлерах кросса Росс 308 в возрасте от 4 до 6 недель. Для эксперимента было создано 4 группы по 35 особей каждая. Контрольная группа получала основной рацион (ОР), в то время как опытные группы питались следующим образом: I группа – ОР с добавлением фитодобавки из левзеи сафлоровидной в количестве 1,60 %; II группа – ОР с добавлением фитодобавки из левзеи сафлоровидной в количестве 2,10 %; III группа – ОР с добавлением фитодобавки из левзеи сафлоровидной в количестве 2,60 %. Таким образом, исследование предполагало оценку эффективности введения в рацион цыплят-бройлеров различных уровней фитодобавки на основе левзеи сафлоровидной в сравнении с контрольной группой, получавшей только основной рацион. **Научная новизна** заключается в том, что впервые изучено влияние применения кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной в составе комбикорма на баланс усвоения азота, кальция, фосфора, а также на показатели роста и сохранность цыплят-бройлеров в условиях среднего Предуралья. **Результаты.** Проведенные исследования показали, что баланс усвоения азота у подопытных цыплят-бройлеров был положительным во всех группах. Однако скармливание фитодобавки на основе левзеи сафлоровидной способствовало более эффективному отложению белка корма в организме молодняка птицы. Включение данной фитодобавки в состав комбикормов не оказывало негативного влияния на минеральный обмен цыплят-бройлеров. Напротив, оно стимулировало процессы усвоения кальция и фосфора. Таким образом, введение фитодобавки из левзеи сафлоровидной в комбикорм способствовало повышению степени использования азота, кальция, фосфора и питательных веществ рациона, что обеспечивало оптимальный ход обменных процессов этих макроэлементов в организме птицы. В результате абсолютный прирост живой массы цыплят-бройлеров в I, II и III опытных группах, получавших фитодобавку, увеличился на 2,62 %, 7,94 % и 15,25 % соответственно по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: левзея сафлоровидная, цыплята-бройлеры, обмен азота, кальций, фосфор, живая масса

Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства науки высшего образования Российской Федерации. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (номер госрегистрации темы – 122030400198-6).

Для цитирования: Лепихина Е. В., Морозков Н. А., Жданова И. Н., Авдеев Н. В. Эффективность скармливания кормовой фитодобавки в составе комбикормов для цыплят-бройлеров // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 926–936. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-926-936>.

Дата поступления статьи: 23.08.2024, **дата рецензирования:** 12.02.2025, **дата принятия:** 04.04.2025.

Efficiency of feeding fodder herbal supplements as part of the combined feed for broiler chickens

E. V. Lepikhina[✉], N. A. Morozkov, I. N. Zhdanova, N. V. Avdeev

Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo village, Perm Krai, Russia

[✉]E-mail: elene831@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to analyze the effect of various doses of feed phyto-defense from *Leuzea safflower* (*Rhaponticum carthamoides*), which is part of compound feeds, on the balance of nitrogen, calcium and phosphorus absorption, as well as on the growth rate of broiler chickens. **Methods.** The study was conducted on 140 broiler chickens of the Ross 308 cross at the age of 4 to 6 weeks. 4 groups of 35 heads each were formed: the control group received the basic diet (BD); I experimental group – BD + phytodrug from safflower leuzea 1.60 %; II experimental group – BD + phytodrug from safflower leuzea 2.10 %; III experimental group – BD + phytodrug from safflower leuzea 2.60 %. Thus, the study assumed an assessment of the effectiveness of introducing into the diet of broiler chickens various levels of phyto-defense based on leuzea safflower in comparison with the control group receiving only the basic diet. **The scientific novelty** lies in the fact that for the first time the effect of the use of a feed supplement from safflower leuzea, as part of compound feed, on the balance of nitrogen, calcium, phosphorus assimilation, as well as on the growth and safety of broiler chickens in the conditions of the middle Urals was studied. **Results.** The conducted studies showed that the balance of nitrogen assimilation in experimental broiler chickens was positive in all groups. The inclusion of this phytonutrient in the composition of compound feeds did not have a negative effect on the mineral metabolism of broiler chickens. On the contrary, it stimulated the absorption of calcium and phosphorus. Thus, the introduction of phytonutrients from leuzea safflower into compound feeds contributed to an increase in the use of nitrogen, calcium, phosphorus and nutrients in the diet, which ensured the optimal course of metabolic processes of these macronutrients in the poultry body. As a result, the absolute increase in live weight of broiler chickens in the I, II and III experimental groups receiving phyto-defense increased by 2.62 %, 7.94 % and 15.25 %, respectively, compared with the control group.

Keywords: leuzea (*Rhaponticum carthamoides*), broiler chickens, nitrogen metabolism, calcium, phosphorus, live weight

Acknowledgements. The study was conducted with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. The work was performed within the framework of the State Assignment of the Federal State Budgetary Institution Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number of the topic – 122030400198-6).

For citation: Lepikhina E. V., Morozkov N. A., Zhdanova I. N., Avdeev N. V. Efficiency of feeding fodder herbal supplements as part of the combined feed for broiler chickens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 926–936. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-926-936>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.08.2024, **date of review:** 12.02.2025, **date of acceptance:** 04.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Обеспечение населения высококачественными и безопасными для здоровья потребителя продуктами питания – главная задача АПК России.

Одна из самых рентабельных отраслей сельского хозяйства – это птицеводство. Современные породы и кроссы птицы отличаются высокими темпами роста и развития, что способствует получению наибольшего объема пищевой продукции за достаточно недолгий период времени.

Спрос на куриное мясо неизменно увеличивается, что ставит перед специалистами задачу обеспечения высоких показателей производства и оп-

тимальной переработки кормов. Одним из решений этой проблемы может стать применение кормовых фитодобавок, богатых биологически активными веществами. В полной мере рост и развитие птицы достигают пика в заключительный период выращивания. К этому этапу птица должна иметь крепкий скелет, чтобы выдержать быстро увеличивающуюся мышечную массу [1–5].

Множество различных факторов оказывает существенное влияние на продуктивность птицы. Ключевыми из них являются генетический потенциал, селекционная работа, а также условия внешней среды. Для полной реализации генетического

потенциала птицы первостепенное значение имеет организация полноценного и сбалансированного кормления. Включение в рационы различных кормовых добавок – эффективный способ улучшения качества и питательной ценности комбикормов, что, в свою очередь, позволяет птице в полной мере воплотить свои генетические возможности в процессе роста и развития.

Использование современных кормовых добавок способствует более полному удовлетворению потребностей птицы в питательных веществах, улучшению переваримости и усвояемости рационов, оптимизации обменных процессов в организме. Это создает благоприятные условия для максимального раскрытия генетического потенциала птицы в отношении продуктивности, сохранности и других хозяйственно полезных признаков. Таким образом, грамотный подход к организации кормления, включая использование эффективных кормовых добавок, является ключевым фактором для реализации генетического потенциала птицы в птицеводческом производстве. Добавление таких веществ в комбикорма позволяет повысить эффективность использования кормов, улучшить обмен веществ в организме птицы, что в итоге приводит к росту ее продуктивности [6–8].

В последнее время все больше специалистов обращают внимание на кормовые фитодобавки в птицеводстве, которые содержат биологически активные соединения, то есть фитобиотики, которые, в свою очередь, представляют альтернативу антибиотикам благодаря свойственной им антимикробной активности и положительному воздействию на микробиом кишечника, а также на повышение динамики продуктивности. Комплексное применение фитобиотиков с микроэлементами и пробиотиками, а также свежие или высушенные растения, их смеси используют для воздействия на экстерьер и показатели физиологического состояния животных. Вследствие применения фитобиотических препаратов отмечают высокий коэффициент конверсии корма и противовоспалительное действие. Повышение качества жизни населения и производство экологически чистой продукции сельского хозяйства являются важными факторами при разработке и применении фитодобавок, которые, в свою очередь должны быть высокоэффективными [9; 10].

Растительные организмы имеют сложный химический состав и по-разному воздействуют на живые системы. Основные группы веществ, содержащихся в растительных организмах, включают макронутриенты (белки, углеводы, липиды), микронутриенты (витамины, минеральные вещества, ферменты), вторичные метаболиты (алкалоиды, гликозиды, флавоноиды, танины, эфирные масла, смолы, органические кислоты). Эти вещества могут оказывать различное физиологическое влияние на организм

животных и человека, включая стимуляцию пищеварения и метаболизма, антиоксидантную и противовоспалительную активность, модуляцию иммунной системы, регуляцию гормональных процессов, проявление антимикробных, антипаразитарных, антиоксидантных свойств. Таким образом, комплексное воздействие разнообразных биоактивных веществ растительного происхождения обуславливает их широкие перспективы использования в качестве функциональных кормовых добавок для сельскохозяйственных животных [11].

Таким образом, растения являются ценным источником различных химических соединений, которые оказывают комплексное воздействие на живые организмы. Исследование этого уникального биохимического комплекса играет ключевую роль в применении растительного сырья в различных областях, включая медицину, фармацевтику, пищевую промышленность и сельское хозяйство [12]. Концентрация этих веществ в растениях может варьироваться в зависимости от времени года, времени суток, места произрастания и других факторов. Это обуславливает разнообразие биологической активности растений и перспективность их использования в качестве источников полезных соединений.

Использование в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы различных растительных добавок имеет целый ряд преимуществ. Во-первых, включение в рационы таких фитодобавок способствует снижению заболеваемости и падежа, тем самым повышается сохранность поголовья. Это обусловлено комплексным позитивным воздействием биологически активных веществ растительного происхождения на организм животных. Во-вторых, применение растительных добавок позволяет снизить расходы на приобретение дорогостоящих лекарственных препаратов, уменьшить необходимость в использовании антибиотиков, а также ограничить потребность во введении в рационы дополнительных витаминов и ферментных комплексов. Это достигается за счет способности фитокомпонентов оптимизировать различные обменные процессы в организме животных и птицы.

Таким образом, комплексное использование растительных кормовых добавок в животноводстве и птицеводстве способствует повышению жизнеспособности поголовья и одновременно позволяет сократить затраты на медикаментозные и витаминно-минеральные подкормки, что имеет большое экономическое значение [13; 14].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование было проведено в 2022 году на производственной базе ООО «Предуралье» в Пермском районе Пермского края. Объектом исследования стали цыплята-бройлеры кросса Росс 308 в возрасте от 2 до 6 недель. Предметом изучения был рацион кормления бройлеров с использованием

сбалансированных по основным питательным элементам комбикормов, в состав которых включалась фитодобавка из левзеи сафлоровидной: 1,60 % в I опытной группе (3 г на голову в сутки), 2,10 % во II опытной (4 г на голову в сутки) и 2,60 % в III опытной (5 г на голову в сутки). Период скармливания составил 21 день.

Комплексный подход с использованием научно-хозяйственного и физиологического экспериментов дает возможность всесторонне оценить эффективность применения фитодобавки на основе левзеи сафлоровидной в кормлении цыплят-бройлеров. Научно-хозяйственный опыт длился 35 дней. Цель опыта – оценка эффективности применения фитодобавки на основе левзеи сафлоровидной в кормлении цыплят-бройлеров. Для проведения эксперимента было сформировано четыре группы цыплят по 35 голов в каждой. Такое распределение позволило организовать сравнительное изучение влияния различных вариантов использования фитодобавки на показатели продуктивности и физиологического статуса подопытных животных. Возраст птицы в начале опыта составил 14 дней. Опыт проводился методом пар-аналогов по соответствующей методике. Физиологический опыт длился 10 дней (дополнительная составляющая комплексного исследования).

Таким образом, исследование включало два взаимосвязанных компонента: научно-хозяйственный опыт, в рамках которого оценивалась продуктивность цыплят-бройлеров при включении в их рацион фитодобавки на основе левзеи сафлоровидной; физиологический опыт, который позволил более детально изучить физиологические и биохимические показатели организма птицы под влиянием данной фитодобавки. Питательность рационов оценивалась по фактическому химическому составу кормов. Все рационы были разработаны с учетом норм кормления и потребностей животных в питательных веществах¹.

Подопытные цыплята-бройлеры содержались в клеточных батареях типа КБН-1, которые обеспечивали им свободный доступ к корму и воде. При этом основные показатели микроклимата в помещениях для выращивания птицы соответствовали рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского и технического института птицеводства².

В рамках научно-хозяйственного опыта был осуществлен физиологический эксперимент с четырьмя группами цыплят-бройлеров по пять особей в каждой. Условия их содержания и кормления соответствовали параметрам основного эксперимента.

Состав комбикорма ПК-6 использовался в качестве основы для приготовления кормовых смесей для цыплят-бройлеров опытных групп. Кормление птицы опытных групп проводили приготовленной кормовой смесью № 1, № 2 и № 3. Питательность комбикормов-кормосмесей соответствовала рекомендуемым нормам кормления.

Некоторые компоненты комбикорма могут быть лучше усваиваемы и более биологически доступны для птицы, что способствует более эффективному использованию питательных веществ. Это, в свою очередь, приводит к повышению продуктивности при аналогичном или даже меньшем расходе корма.

Таким образом, при оценке эффективности кормления птицы необходимо учитывать не только общее содержание питательных веществ, но и их биологическую доступность для усвоения организмом. Это позволяет подобрать оптимальные рецептуры комбикормов, обеспечивающих максимально эффективное использование питательных веществ и, как следствие, высокую продуктивность птицы при минимальных затратах кормов.

Введение в состав комбикормов, содержащих труднопереваримые компоненты, растительных добавок, обогащенных биологически активными веществами, является целесообразным технологическим решением. Такие фитокомпоненты способны повысить усвоение питательных веществ рациона, оптимизировать метаболические процессы в организме птицы.

Применение данных растительных кормовых ингредиентов позволяет повысить эффективность использования комбикормов и в конечном счете увеличить продуктивность птицеводства. Это обусловлено комплексным положительным воздействием биологически активных веществ растительного происхождения на организм продуктивной птицы [15].

Для этой цели использовалась фитодобавка из левзеи сафлоровидной. Зеленая масса левзеи сафлоровидной выращена и заготовлена на опытном поле Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. Зеленую массу левзеи сафлоровидной убрали в конце мая (в фазу бутонизации). Скошенную массу сушили при температуре 40 °С с активным вентилированием, потом перерабатывали на измельчителе сена и соломы ДПМС-15, по итогу была получена кормовая фитодобавка, которая представляла собой порошкообразную зеленую массу.

Левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*), также известная как маралий корень, – это многолетнее растение из семейства астровых (*Asteraceae*). Она представляет собой универсальную кормовую культуру, имеющую широкое применение в зоотехнической (кормовой) и ветеринарной (лечебно-профилактической) практике. Левзея обладает богатым составом биологически активных

¹ Фисинин В. И., Имангулов Ш. А. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы: рекомендации. Сергиев-Посад: ВНИТИП, 2004. 44 с.

² Там же.

веществ, которые играют важную роль в регуляции метаболических процессов в организме животных и человека.

Исследование биохимического состава и количественного содержания экистероидов и флавоноидов в надземных частях левзеи сафлоровидной проводилось в аналитической лаборатории Пермского НИИСХ и на кафедре физиологии растений Пермского государственного национального исследовательского университета.

Результаты показали, что фенольные соединения являются наиболее многочисленной группой вторичных растительных метаболитов в фитодобавке и составляют 4,21 % в пересчете на абсолютно сухое вещество. Содержание биологически активного вещества 20-гидроксиэкидизона в фитодобавке составило 0,394 % в пересчете на действующее вещество.

Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале фитодобавки из левзеи сафлоровидной для применения в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы.

С 2009 года ученые Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН занимаются разработкой технологии возделывания левзеи сафлоровидной на Урале. Сушеная, измельченная зеленая масса данного растения используется для производства кормовых фитодобавок, которые, в свою очередь, включают в состав комбикормов [16].

Полученные данные были обработаны с применением методов вариационной статистики. Различия считались достоверными при следующих уровнях значимости: $*P \leq 0,05$; $**P \leq 0,01$; $***P \leq 0,001$.

Результаты (Results)

Часть азотистых соединений, потребляемых цыплятами с кормом, выводится из организма с пометом. Остаток азота используется для восстановления и синтеза азотосодержащих веществ, которые расходуются в эндогенных метаболических процессах. Таким образом, оставшийся азот способствует образованию продукции, приводя к увеличению живой массы цыплят-бройлеров.

Введение фитодобавки в рационы птицы способствовало улучшению усвоения и утилизации азотистых веществ, что выразилось в положительном азотистом балансе у подопытных цыплят по сравнению с контрольной группой. Это свидетельствует об улучшении белкового обмена и, как следствие, повышении интенсивности роста под влиянием биологически активных соединений левзеи сафлоровидной.

Анализ данных баланса азота, полученных в ходе эксперимента с цыплятами-бройлерами, показал, что во всех исследуемых группах он имел положительное значение (таблица 1).

Цыплята-бройлеры I, II и III опытных групп по сравнению с контрольной лучше использовали азот от принятого на 0,17 %, на 0,74 % и на 1,39 % соответственно. Это свидетельствует о том, что скормливание фитодобавки из левзеи сафлоровидной в дозе 3, 4, 5 г на голову в сутки цыплятам-бройлерам способствует большему отложению белка корма в организм птицы. Подопытные цыплята, потреблявшие фитодобавку, больше выделили азота с пометом в связи с большим потреблением сухого вещества рациона.

Таблица 1
Баланс и использование азота кормосмеси (комбикорма) подопытными цыплятами-бройлерами в сутки, г ($M \pm m$, $n = 5$)

Группа	Показатель			
	Принято с кормом, г	Выделено в помете, г	Баланс, $\pm$ г	Использовано азота, в % от принятого
Контрольная	$6,27 \pm 0,14$	$3,20 \pm 0,13$	$+3,07 \pm 0,11$	$48,98 \pm 1,05$
I опытная	$6,85 \pm 0,07$	$3,49 \pm 0,08$	$+3,36 \pm 0,05$	$49,15 \pm 0,95$
II опытная	$7,01 \pm 0,15^*$	$3,53 \pm 0,16$	$+3,48 \pm 0,15$	$49,72 \pm 0,77$
III опытная	$7,51 \pm 0,08^{**}$	$3,73 \pm 0,21$	$+3,78 \pm 0,12^*$	$50,37 \pm 1,09$

Примечание. $*P \leq 0,05$; $**P \leq 0,01$.

Table 1
Daily balance and nitrogen use of feed mixture (compound feed) by experimental broiler chickens, g ($M \pm m$, $n = 5$)

Group	Parameter			
	Taken with food, g	Highlighted in the litter, g	Balance, $\pm$ g	Nitrogen used in % of accepted
Control	6.27 ± 0.14	3.20 ± 0.13	$+3.07 \pm 0.11$	48.98 ± 1.05
I experimental	6.85 ± 0.07	3.49 ± 0.08	$+3.36 \pm 0.05$	$49.15 \pm 0.95^*$
II experimental	$7.01 \pm 0.15^*$	3.53 ± 0.16	$+3.48 \pm 0.15$	49.72 ± 0.77
III experimental	$7.51 \pm 0.08^{**}$	3.73 ± 0.21	$+3.78 \pm 0.12^*$	$50.37 \pm 1.09^*$

Note. $*P \leq 0.05$; $**P \leq 0.01$.

Таблица 2

Баланс и использование кальция кормосмеси (комбикорма) подопытными цыплятами-бройлерами в сутки, г ($M \pm m$, $n=5$)

Группа	Показатель			
	Принято с кормом, г	Выделено с пометом, г	Баланс, г	Использовано от принятого, %
Контрольная	$2,23 \pm 0,13$	$1,00 \pm 0,09$	$1,23 \pm 0,07$	$55,18 \pm 2,34$
I опытная	$2,43 \pm 0,05$	$1,08 \pm 0,08$	$1,35 \pm 0,04$	$55,71 \pm 1,16$
II опытная	$2,48 \pm 0,11$	$1,09 \pm 0,07$	$1,39 \pm 0,06$	$56,12 \pm 3,06$
III опытная	$2,68 \pm 0,08^*$	$1,15 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,05^*$	$57,03 \pm 2,56$

Примечание. * $P \leq 0,05$.

Table 2

Daily balance and use of calcium feed mixture by experimental broiler chickens, g ($M \pm m$, $n=5$)

Group	Parameter			
	Taken with food, g	Highlighted with a litter, g	Balance, g	Used from accepted, %
Control	2.23 ± 0.13	1.00 ± 0.09	1.23 ± 0.07	55.18 ± 2.34
I experimental	2.43 ± 0.05	1.08 ± 0.08	1.35 ± 0.04	55.71 ± 1.16
II experimental	2.48 ± 0.11	1.09 ± 0.07	1.39 ± 0.06	56.12 ± 3.06
III experimental	$2.68 \pm 0.08^*$	1.15 ± 0.06	$1.53 \pm 0.05^*$	57.03 ± 2.56

Note. * $P \leq 0.05$.

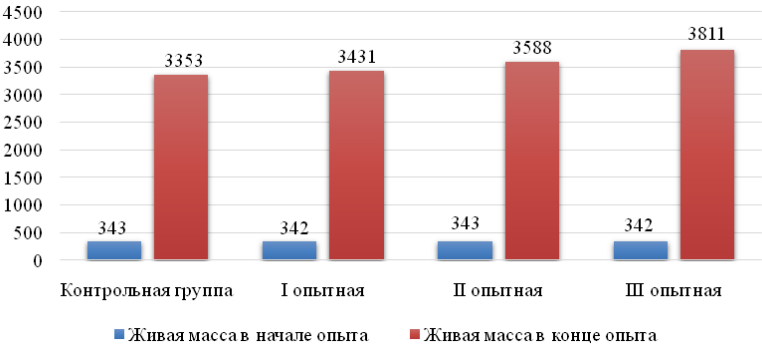


Рис. 1. Живая масса цыплят-бройлеров, г

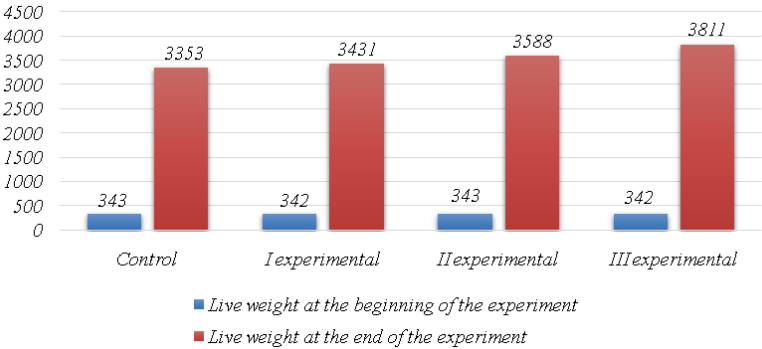


Fig. 1. Live weight of broiler chickens, g

Минеральные вещества играют существенную роль в обменных процессах организма птицы. В таблице 2 представлены данные по балансу и использованию кальция подопытными цыплятами-бройлерами.

Баланс кальция у подопытной птицы в каждой из групп оказался положительным и варьировался от 1,23 до 1,53 г. В то же время цыплята-бройлеры из I, II и III опытных групп, получавшие фитодобавку из лезвие сафлоровидной, продемонстрировали лучшее усвоение кальция по сравнению с

контрольной группой на 0,53 %, 0,94 % и 1,85 % соответственно.

Данные по балансу и использованию фосфора подопытными цыплятами-бройлерами представлены в таблице 3.

Цыплята-бройлеры в опытных группах эффективнее использовали фосфор из кормосмесей по сравнению с птицей из контрольной группы: в I опытной группе коэффициент усвоения фосфора был выше на 0,29 %; во II опытной группе – на 0,83 %; в III опытной группе – на 1,52 %.

Таблица 3

Баланс и использование фосфора кормосмеси (комбикорма) подопытными цыплятами-бройлерами в сутки, г ($M \pm m, n = 5$)

Группа	Показатель			
	Принято с кормом, г	Выделено с пометом, г	Баланс, $\pm$ г	Использовано от принятого, %
Контрольная	$1,31 \pm 0,08$	$0,61 \pm 0,09$	$0,70 \pm 0,04$	$53,65 \pm 2,52$
I опытная	$1,43 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,05$	$0,77 \pm 0,01$	$53,94 \pm 1,45$
II опытная	$1,46 \pm 0,07$	$0,66 \pm 0,06$	$0,80 \pm 0,03$	$54,48 \pm 2,56$
III опытная	$1,56 \pm 0,05^*$	$0,70 \pm 0,03$	$0,86 \pm 0,07$	$55,17 \pm 1,43$

Примечание. * $P \leq 0,05$.

Table 3

Daily balance and use of feed mixture phosphorus (compound feed) by experimental broiler chickens, g ($M \pm m, n = 5$)

Group	Parameter			
	Taken with food, g	Highlighted with a litter, g	Balance, $\pm$ g	Used from accepted, %
Control	1.31 ± 0.08	0.61 ± 0.09	0.70 ± 0.04	53.65 ± 2.52
I experimental	1.43 ± 0.04	0.66 ± 0.05	0.77 ± 0.01	53.94 ± 1.45
II experimental	1.46 ± 0.07	0.66 ± 0.06	0.80 ± 0.03	54.48 ± 2.56
III experimental	$1.56 \pm 0.05^*$	0.70 ± 0.03	0.86 ± 0.07	55.17 ± 1.43

Note. * $P \leq 0.05$.

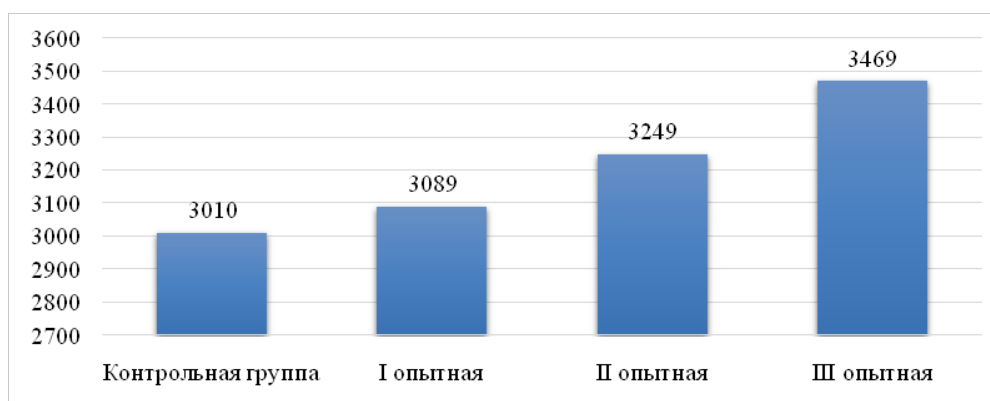


Рис. 2. Абсолютный прирост, г

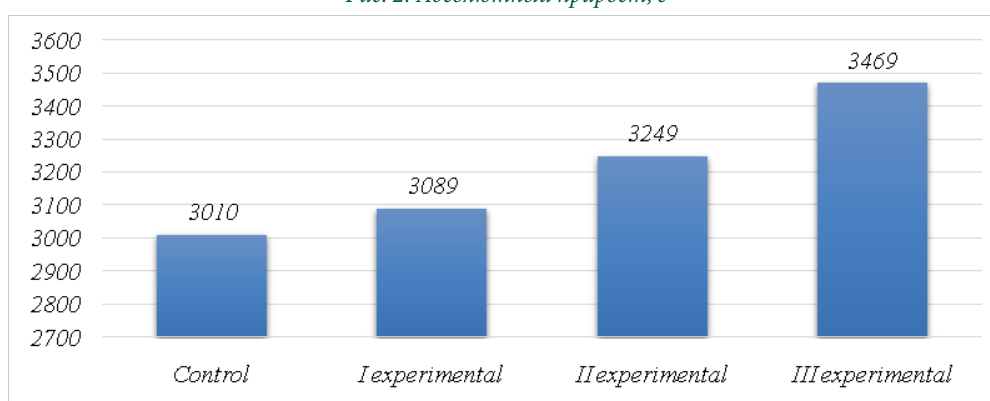


Fig. 2. Absolute increase, g

Более высокий уровень отложения кальция и фосфора в организме растущих цыплят-бройлеров опытных групп по сравнению с контрольными аналогами может служить индикатором более активных процессов роста и развития костной ткани. Данный факт является важным, поскольку интенсивное формирование и минерализация скелета у

молодняка птицы – ключевой фактор, обеспечивающий интенсивное увеличение их живой массы.

Обеспеченность организма цыплят-бройлеров фосфором является крайне важной, поскольку этот элемент входит в состав фосфолипидов, играющих ключевую роль в образовании клеточных мембран и регуляции их проницаемости.

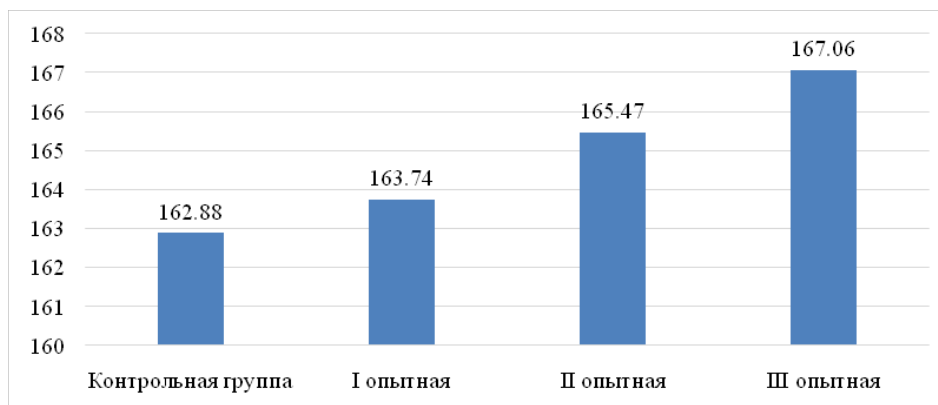


Рис. 3. Относительный прирост, %

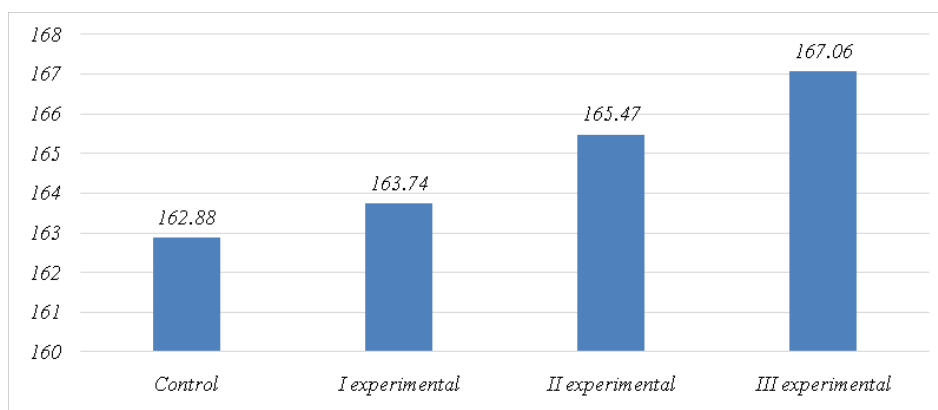


Fig. 3. Relative increase, %

В ходе всего периода проведения научно-хозяйственного эксперимента основная масса подопытной птицы чувствовала себя комфортно, была активной и отличалась хорошим аппетитом. За время исследований отход птицы не зафиксирован.

В начале эксперимента живая масса подопытных цыплят-бройлеров находилась примерно на одинаковом уровне (рис. 1).

На основании представленных данных в завершение исследования можно сделать следующие выводы: добавление фитодобавки в комбикорм оказывает положительное воздействие на живую массу цыплят-бройлеров. Увеличение дозировки фитодобавки в комбикорме способствует более заметному приросту живой массы. Наибольший прирост массы (превышающей показатели контрольной группы на 458 г) был зарегистрирован у цыплят III опытной группы, которые получали комбикорм с максимальной дозировкой фитодобавки. Цыплята II опытной группы, получавшие комбикорм с повышенной дозировкой, также значительно опередили контрольную группу, набрав на 235 г больше. Птица I опытной группы, получавшая комбикорм с наименьшей дозировкой, показала меньший результат прироста живой массы по сравнению с другими группами, однако также превосходила контрольную группу на 78 г.

Результаты эксперимента на цыплятах-бройлерах показали, что добавление фитодобавки из

левеи сафлоровидной в комбикорм способствовало увеличению абсолютного прироста живой массы птицы в I, II и III опытных группах на 2,62 %, 7,94 % и 15,25 % соответственно по сравнению с контрольной группой. Относительный прирост также оказался выше в экспериментальных группах на 0,86 %, 2,59 % и 4,18 % по сравнению с контролем (рис. 2, 3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что включение в рацион бройлеров фитодобавки из левеи сафлоровидной способствовало более интенсивному росту и увеличению живой массы подопытных птиц.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Обеспечение птицы достаточным количеством белка в рационе остается актуальной проблемой в кормлении. Недостаточное содержание протеина в рационе цыплят-бройлеров не позволяет реализовать их продуктивный потенциал, а также снижает эффективность использования кормов. Особую роль в этом процессе играет баланс азота, так как даже высокая переваримость этого элемента не гарантирует его эффективного усвоения организмом. Помимо изучения азотистого баланса, важно исследовать обмен минеральных веществ у птицы. Низкий уровень протеина в рационе негативно влияет на всасываемость кальция и фосфора, при этом качество белка не менее значимо, чем его количество.

Исследование баланса азота и основных минеральных веществ является важным для прогнозирования и регулирования метаболических процессов у бройлеров. Полученные данные позволят оптимизировать кормление птицы, что, в свою очередь, приведет к повышению их продуктивности и эффективности использования комбикормов.

Вводимые добавки не оказали негативного влияния на минеральный обмен птиц, а, напротив, стимулировали процессы усвоения кальция и фосфора. Таким образом, применение фитодобавки на ос-

нове левзеи сафлоровидной в составе комбикормов способствует повышению степени использования данных макроэлементов, содержащихся в рационе, и оптимизирует их обменные процессы в организме растущей птицы.

В целом проведенные исследования свидетельствуют о перспективности использования разработанной фитодобавки в кормлении цыплят-бройлеров для повышения их продуктивности и эффективности использования комбикормов.

Библиографический список

1. Дускаев Г. К., Климова Т. А. Фитохимические вещества в кормлении сельскохозяйственной птицы: перспективы использования (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 3. С. 137–152. DOI: 10.33284/2658-3135-105-3-137.
2. Лунегов А., Клименко О., Мареска М., Гийу Р. Лекарственные растения в комплексе ФитОм Биотик для кормления животных // Эффективное животноводство. 2019. № 9 (157). С. 70–71.
3. Крюкова В. Фитобиотики в птицеводстве // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2021. № 12. С. 17–21.
4. Нуриев Г. Г., Шепелев С. И., Малякко И. В., Боровик Е. С., Гулаков А. Н. Эффективность замены соевого шрота люпином в комбикормах для цыплят-бройлеров // Зоотехния. 2021. № 4. С. 12–17.
5. Ogbuewu I. P., Mbajorgu C. A. Potentials of dietary zinc supplementation in improving growth performance, health status, and meat quality of broiler chickens // Biological Trace Element Research. 2023. Vol. 201, No. 3. Pp. 1418–1431. DOI: 10.1007/s12011-022-03223-5.
6. Петруша Ю. К., Лебедев С. В., Гречкина В. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 103–118.
7. Sláma K. Vitamin D1 versus ecdysteroids: growth effects on cell regeneration and malignant growth in insects are similar to those in humans // European Journal of Entomology. 2019. Vol. 116. Pp. 16–32. DOI: 10.14411/EJE.2019.003.
8. Jin L-Z., Dersjant-Li Yu., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens // In: Feed Additives. Cambridge: Academic Press, 2020. Pp. 159–185. DOI: 10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8.
9. Njeri F. M., Sanchez J., Patterson R., Gachuri C. K., Kiarie E. G. Comparative growth performance, gizzard weight, ceca digesta short chain fatty acids and nutrient utilization in broiler chickens and turkey poults in response to cereal grain type, fiber level, and multienzyme supplement fed from hatch to 28 days of life // Poultry Science. 2023. Vol. 102, No. 10. DOI: 10.1016/j.psj.2023.102933.
10. Подольников В. Е. [и др.] Кормовая добавка на основе гуматов для повышения мясных качеств сельскохозяйственной птицы // Зоотехния. 2021. № 4. С. 20–25.
11. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Кайгородов Р. В., Жданова И. Н., Терентьева Л. С. Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутového в рационах кур-несушек // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 4. С. 664–673. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673.
12. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A., Zajac M. Immunomodulant feed supplement *Boswellia serrata* to support broiler chickens' health and dietary and technological meat quality // Poultry Science. 2020. Vol. 99, No. 2. Pp. 1052–1061. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.007.
13. Topuria G., Topuria L., Shcherbakov P., Derkho M., Shcherbakova T., Burkov P., Strizhikova S., Strizhikov V. Effects of natural drugs on the immune status and productivity of sows // Journal of Natural Remedies. 2021. Vol. 21, № 9-1. Pp. 78–84.
14. Буяров В. С., Червонова И. В., Меднова В. В., Ильичева И. Н. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве (обзор) // Вестник аграрной науки. 2020. № 3 (84). С. 44–59. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.44.
15. Бочкарева А. А., Андреева А. Е. Использование в животноводстве белково-витаминных добавок [Электронный ресурс] // NovaInfo. 2024. № 143. С. 17–18. URL: <https://novainfo.ru/article/20523> (дата обращения: 09.09.2024).
16. Майсак Г. П., Матолинец Д. А., Авдеев Н. В. Научные основы технологии возделывания левзеи сафлоровидной на семена в Предуралье: методические рекомендации. Пермь: ОТ и ДО, 2023. 48 с.

Об авторах:

Елена Валерьевна Лепихина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия; ORCID 0000-0003-0419-1126, AuthorID 1070692. *E-mail: elene831@mail.ru*

Николай Александрович Морозков, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия; ORCID 0000-0002-3454-7843, AuthorID 822383. *E-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru*

Ирина Николаевна Жданова, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия; ORCID 0000-0002-0260-6917, AuthorID 784622. *E-mail: saratov_perm@mail.ru*

Николай Викторович Авдеев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Россия; ORCID 0000-0002-0320-9681, AuthorID 1065852. *E-mail: korm.pro2015@yandex.ru*

References

1. Duskaev G. K., Klimova T. A. Phytochemicals in poultry nutrition: prospects for use (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022; 105 (03): 137–152. DOI: 10.33284/2658-3135-105-3-137. (In Russ.)
2. Lunegov A., Klimenko O., Mareska M., Guillou R. Medicinal plants in the Phytom Biotic complex for feeding animals. *Efficient Animal Husbandry*. 2019; 9 (157): 70–71. (In Russ.)
3. Kryukova V. Phytobiotics in poultry farming. *Veterinary Medicine of Farm Animals*. 2021; 12: 17–21. (In Russ.)
4. Nuriev G. G., Shepelev S. I., Malyavko I. V., Borovik E. S., Gulakov A. N. The effectiveness of replacing soy meal with lupin in compound feeds for broiler chickens. *Zootekhnika*. 2021; 4: 12–17. (In Russ.)
5. Ogbuewu I. P., Mbajorgu C. A. Potentials of dietary zinc supplementation in improving growth performance, health status, and meat quality of broiler chickens. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201 (3): 1418–1431. DOI: 10.1007/s12011-022-03223-5.
6. Petruscha Yu. K., Lebedev S. V., Grechkina V. V. Phytobiotics in poultry feeding (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022; 105 (1): 103–118. (In Russ.)
7. Sláma K. Vitamin D1 versus ecdysteroids: growth effects on cell regeneration and malignant growth in insects are similar to those in humans. *European Journal of Entomology*. 2019; 116: 16–32. DOI: 10.14411/EJE.2019.003.
8. Jin L-Z., Dersjant-Li., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. In: *Feed Additives*. Cambridge: Academic Press, 2020. Pp. 159–185. DOI: 10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8.
9. Njeri F. M., Sanchez J., Patterson R., Gachui C. K., Kiarie E. G. Comparative growth performance, gizzard weight, ceca digesta short chain fatty acids and nutrient utilization in broiler chickens and turkey poults in response to cereal grain type, fiber level, and multienzyme supplement fed from hatch to 28 days of life. *Poultry Science*. 2023; 102 (10). DOI: 10.1016/j.psj.2023.102933.
10. Podolnikov V. E., et al. Feed additive based on humates to improve the meat qualities of poultry. *Zootekhnika*. 2021; 4: 20–25. (In Russ.)
11. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Kaigorodov R. V., Zhdanova I. N., Terentyeva L. S. The effectiveness of using plant-based feed supplement made of *Astragalus cicer* in the diets of laying hens. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25 (4): 664–673. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673. (In Russ.)
12. Kiczorowska B., Samolińska W., Al-Yasiry A., Zajac M. Immunomodulant feed supplement *Boswellia serrata* to support broiler chickens' health and dietary and technological meat quality. *Poultry Science*. 2020; 99 (2): 1052–1061. DOI: 10.1016/j.psj.2019.10.007.
13. Topuria G., Topuria L., Shcherbakov P., Derkho M., Shcherbakova T., Burkov P., Strizhikova S., Strizhikov V. Effects of natural drugs on the immune status and productivity of sows. *Journal of Natural Remedies*. 2021; 21 (9-1): 78–84.
14. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Mednova V. V., Ilyicheva I. N. The effectiveness of phytobiotics in poultry farming (review). *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 3 (84): 44–59. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.44. (In Russ.)

15. Bochkareva A. A., Andreeva A. E. The use of protein and vitamin supplements in animal husbandry. *Novainfo* [Internet]. 2024 [cited 2024 Sep 09]; 143: 17–18. Available from: <https://novainfo.ru/article/20523>. (In Russ.)

16. Maysak G. P., Matolinets D. A., Avdeev N. V. *Scientific foundations of the technology of cultivation of safflower leuzea for seeds in the Urals: methodological recommendations*. Perm: OT i DO, 2023. 48 p. (In Russ.)

Author's information:

Elena V. Lepikhina, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo village, Perm Krai, Russia; ORCID 0000-0003-0419-1126, AuthorID 1070692. *E-mail: elene831@mail.ru*

Nikolay A. Morozkov, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo village, Perm Krai, Russia; ORCID 0000-0002-3454-7843, AuthorID 822383.

E-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru

Irina N. Zhdanova, candidate of veterinary sciences, senior researcher, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo village, Perm Krai, Russia; ORCID 0000-0002-0260-6917, AuthorID 784622. *E-mail: saratov_perm@mail.ru*

Nikolay V. Avdeev, candidate of biological sciences, Perm Research Institute of Agriculture – a branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo village, Perm Krai, Russia; ORCID 0000-0002-0320-9681, AuthorID 1065852. *E-mail: korm.pro2015@yandex.ru*

Состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при слабом грибном заболевании

М. И. Яковлева[✉], Г. Г. Терехов

Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: hmi81@mail.ru

Аннотация. Одними из самых распространенных являются заболевания хвои типа шютте, вызываемые грибами рода *Lophodermium*. Значительный ущерб шютте обыкновенное причиняет сеянцам сосны в питомниках. Однако биохимические аспекты устойчивости сосны обыкновенной к грибным инфекциям остаются недостаточно изученными. Среди защитных химических веществ фенольные соединения играют важную роль в устойчивости растений, в том числе к грибным патогенам. В этой связи **целью** исследования было изучить возможное влияние слабой степени поражения шютте обыкновенным на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны. **Методы.** Состав и содержание фенольных соединений были изучены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. **Научная новизна.** В уральском регионе подобные исследования ранее не проводились. **Результаты.** В образцах хвои двухлетних сеянцев сосны как с признаками болезни, так и без них было выявлено более 100 фенольных соединений. Различий в составе фенольных соединений между хвоей пораженных и контрольных сеянцев не обнаружено, изменялось только их содержание. Так, в хвое пораженных сеянцев у 40,2 % фенольных соединений содержание возрастало, у 34,2 % снижалось, а у 25,6 % практически не изменялось по сравнению с контрольными. Установлено повышение содержания отдельных фенольных соединений в пораженной хвое, в особенности изорамнетина, кемпферола и бензойной кислоты, по сравнению с контролем. Полученные нами результаты свидетельствуют о проявлении защитной реакции у сеянцев сосны на слабое поражение шютте обыкновенным на биохимическом уровне.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., шютте обыкновенное, устойчивость растений, фенольные соединения, высокоэффективная жидкостная хроматография

Благодарности. Выражаем благодарность Алексею Анатольевичу Любимову, директору Сарафановского питомника растений (Артемовский район Свердловской области) за содействие в исследовании. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук (№ 123112700125-1).

Для цитирования: Яковлева М. И., Терехов Г. Г. Состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при слабом грибном заболевании // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 937–946. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-937-946>.

Дата поступления статьи: 17.06.2024, **дата рецензирования:** 19.02.2025, **дата принятия:** 02.04.2025.

Composition and content of phenolic compounds in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with mild fungal disease

M. I. Yakovleva[✉], G. G. Terekhov

Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

[✉]E-mail: hmi81@mail.ru

Abstract. One of the most common are diseases of needles, caused by fungi of the genus *Lophodermium*. Lophodermium needle cast causes significant damage to pine seedlings in nurseries. However, the biochemical aspects of Scots pine resistance to fungal infections remain insufficiently studied. Among protective chemicals, phenolic compounds play an important role in plant resistance, including to fungal pathogens. In this regard, the **purpose** of the research was to study the possible influence of a weak degree of diseases by Lophodermium needle cast on the composition and content of phenolic compounds in pine needles. **Methods.** The composition and content of phenolic compounds were studied by high-performance liquid chromatography. **Scientific novelty.** Such studies have not previously been carried out in the Ural region. **Results.** More than 100 phenolic compounds were identified in samples of needles from two-year-old pine seedlings, both with and without signs of disease. No differences in the composition of phenolic compounds were found between the affected and control seedlings, only their content changed. Thus, in the needles of affected seedlings, the content of phenolic compounds increased in 40.2 %, decreased in 34.2 %, and remained virtually unchanged in 25.6 % compared to the control. An increase in the content of individual phenolic compounds in the affected needles, especially isorhamnetin, kaempferol and benzoic acid, was found compared to the control. This indicates the manifestation of a protective reaction in pine seedlings to a weak attack by the common Schutte at the biochemical level.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., Lophodermium needle cast, plant resistance, phenolic compounds, high-performance liquid chromatography

Acknowledgements. We express our gratitude to Aleksey Anatolyevich Lyubimov, director of the Sarafanovskiy plant nursery (Artemovskiy district, Sverdlovsk region) for his assistance in the research. This work was carried out within the framework of the state assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (№ 123112700125-1).

For citation: Yakovleva M. I., Terekhov G. G. Composition and content of phenolic compounds in the needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with mild fungal disease. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 937–946. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-937-946>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.06.2024, **date of review:** 19.02.2025, **date of acceptance:** 02.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Обыкновенное шютте – одно из наиболее распространенных заболеваний хвой, встречающееся у нескольких видов сосен. Особенно часто болезнью поражаются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), а также сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica*). Возбудителями шютте обыкновенного являются сумчатые грибы рода *Lophodermium* (Ascomycota, Rhytismataceae). Они вызывают частичное или полное пожелтение хвой, ее засыхание и опадение. При этом на поверхности хвой формируются органы спороношения грибов (пикниды и апотеции), являющиеся наиболее характерными признаками болезни. Сначала возникает конидиальное спороношение в виде мелких черных овально-удлиненных или округлых образований – пикнид. Затем образу-

ются плодовые тела – апотеции, имеющие вид черных блестящих овальных подушечек. Разлет спор и заражение хвой могут наблюдаться в течение всего вегетационного периода в условиях достаточной влажности и тепла. Также отмечено, что массовому развитию шютте обыкновенного благоприятствуют условия окружающей среды, способствующие снижению тургора клеток хвой [1].

Обыкновенное шютте у сосны вызывают чаще *Lophodermium seditiosum* (Minter, Staley & Millar) и *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall. При этом сосну в возрасте до 5 лет поражает гриб *L. seditiosum*, очень редко – *L. pinastri*; с 6 до 14 лет – оба гриба, с 8 лет начинает преобладать *L. pinastri*, и с 15 лет на сосне встречается только *L. pinastri* [2]. Наибольшая агрессивность характерна для *L. sedi-*

tiosum. В настоящее время он считается основным возбудителем шютте сеянцев сосны в питомниках и в отдельные годы может наносить значительный ущерб. Так, в 2015 году в лесных питомниках Свердловской области наблюдалась эпифитотия шютте обыкновенного, которая привела к частичной или даже полной гибели двухлетних сеянцев сосны обыкновенной, что повлекло за собой дефицит лесопосадочного материала [3].

В свою очередь, растения, чтобы противостоять атакам патогенов, а также вредителей, используют ряд конститутивных (предварительно сформированных) и индуцированных (возникающих в ответ на контакт с патогеном или фитофагом) защитных механизмов. Некоторые исследователи придерживаются мнения, что у деревьев лучше развиты механизмы индуцированной защиты, поскольку она энергетически менее затратна по сравнению с конститутивной, которая присутствует постоянно [4; 5]. Для долгоживущих видов, подвергающихся постоянным угрозам со стороны вредителей и патогенов, активация индуцированных защитных механизмов может иметь долгосрочное действие, вызывая иммунные реакции у деревьев против будущих инвазий, тем самым компенсируя связанные с этим метаболические затраты [4].

Так, растения в ответ на атаку патогенов и вредителей способны индуцировать различные защитные реакции за счет вторичных метаболитов (фенольных соединений, терпеноидов, алкалоидов); соединений белковой группы; образования дополнительных механических и структурных барьеров; привлечения естественных врагов и перераспределения ресурсов [6].

Среди защитных химических веществ фенольные соединения играют важную роль в устойчивости растений, в том числе к грибным патогенам [5; 7; 8]. При этом фенольные соединения укрепляют клеточные стенки, предотвращают рост патогенов и нейтрализуют активные формы кислорода. Кроме того, фенольные соединения функционируют как сигнальные молекулы, которые запускают активацию защитных генов и развитие системной приобретенной резистентности, тем самым обеспечивая устойчивую защиту [9]. Некоторые фенольные соединения могут проявлять непосредственно противогрибковую активность [8].

Фенольные соединения постоянно присутствуют в тканях здоровых растений, и дальнейшее их накопление может быть индуцировано в ответ на инфекцию. Вместе с тем возможна как локальная (вблизи поврежденной ткани), так и системная (вдали от поврежденной ткани) индукция фенольных соединений патогенами [7]. Среди фенольных соединений хвойных пород стильбены чаще всего изучались в контексте индуцированной устойчивости к патогенам. В частности, показано, что после поражения грибными патогенами у сосны обыкновенной

увеличение содержания стильбенов (пиносильвина и монометилового эфира пиносильвина), а также нескольких флавоноидов происходило локально в зоне реакции, а также наблюдалось системно в хвое [7]. Более поздние исследования подтвердили наличие системных реакций у различных видов хвойных деревьев [5; 6].

Однако биохимические аспекты устойчивости сосны обыкновенной к заболеваниям типа шютте при массовом выращивании посадочного материала в открытом и закрытом грунтах остаются недостаточно изученными. В связи с этим нами впервые в условиях уральского региона были исследованы с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) состав и содержание фенольных соединений в хвое сеянцев сосны обыкновенной с признаками шютте обыкновенного (пораженность болезнью около 10 %) и хвое здоровых сеянцев (контроль).

Методология и методы исследования (Methods)

Образцы двухлетних сеянцев сосны обыкновенной были взяты 18 апреля 2023 года (115 шт.). Сеянцы выращивали в условиях открытого грунта в Сарафановском питомнике (Артемовский городской округ Свердловской области). В лабораторных условиях сеянцы сосны были условно разделены на здоровые (без внешних признаков болезни) и слабо пораженные болезнью (около 10 %). Затем с каждого растения отбирали хвоинки с внешними признаками поражения (изменение окраски, наличие пикнид, плодовых тел и т. д.). Контролем служили сеянцы сосны, хвоя которых не имела внешних признаков болезни шютте обыкновенного.

Для хроматографического анализа использовалась парная хвоя второго года. Хвою высушивали при комнатной температуре, затем ее измельчали. После этого навеску массой 2 г смешивали с 20 мл 95-процентного этанола. Экстракцию фенольных соединений из хвои сосны проводили в обратном холодильнике на водяной бане в течение 30 минут при кипении раствора. Экстракт фильтровали через шприцевый фильтр с диаметром пор 0,2 мкм.

Хроматографический анализ проводили на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20 со спектрофотометрическим УФ-детектором. Детектирование элюента осуществляли одновременно на двух полосах поглощения (254 и 360 нм) на хроматографической колонке PerfectSil Target ODS-3 5 мкм с обращенной фазой размерами 250 × 4,6 мм. Градиентное элюирование проводилось в диапазоне 10–50 % со скоростью 1 мл/мин при температуре 40 °С. Элюент А – ацетонитрил – 0,05 М фосфатный буферный раствор (pH = 3,0); элюент В – ацетонитрил : вода (9 : 1). Продолжительность хроматографического анализа – 50 минут при 40 °С. Из них от 0 до 30 минут проводилось градиентное элюирование в диапазоне 10–50 %, затем в течение 20 минут при концентрации 50 %.

Таблица 1

Морфометрические показатели двухлетних сеянцев сосны

Сеянцы	Высота стволика, см $M \pm m$	Диаметр стволика, мм $M \pm m$	Длина хвои, см $M \pm m$
Без признаков поражения (контроль) ($n = 66$)	$6,47 \pm 0,18$	$1,44 \pm 0,05$	$7,28 \pm 0,34$
С признаками поражения ($n = 49$)	$7,42 \pm 0,28$	$1,77 \pm 0,07$	$5,99 \pm 0,15$
Значение t -критерия Стьюдента	2,95	3,80	3,27
Уровень значимости P	0,0038	0,0002	0,0015

Примечание. M – среднее арифметическое значение, m – стандартная ошибка среднего, n – количество сеянцев (шт.).

Table 1

Morphometric parameters of 2-year-old pine seedlings

Seedlings	Height of stem, cm $M \pm m$	Diameter of stem, mm $M \pm m$	Length of needle, cm $M \pm m$
No signs of disease (control) ($n = 66$)	6.47 ± 0.18	1.44 ± 0.05	7.28 ± 0.34
With signs of disease ($n = 49$)	7.42 ± 0.28	1.77 ± 0.07	5.99 ± 0.15
Student t -test value	2.95	3.80	3.27
Level of significance P	0.0038	0.0002	0.0015

Note. M – arithmetic mean, m – standard error of the mean, n – number of seedlings (pieces).

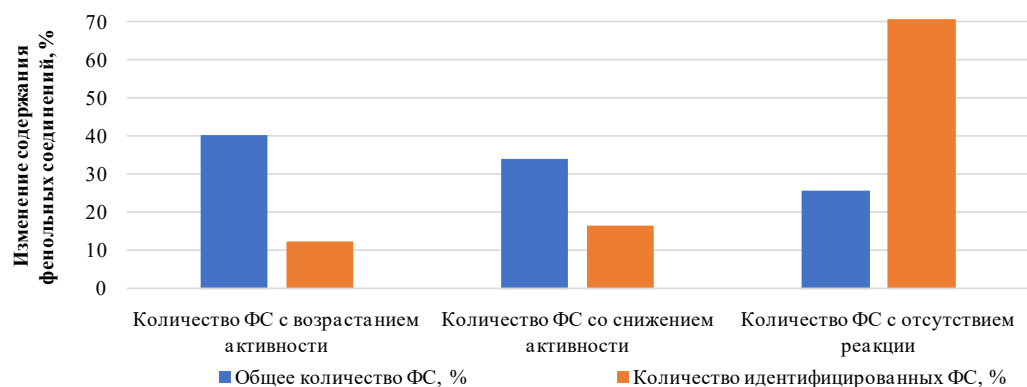


Рис. 1. Влияние слабой степени поражения шютте обыкновенным на содержание фенольных соединений (ФС) в хвое сосны

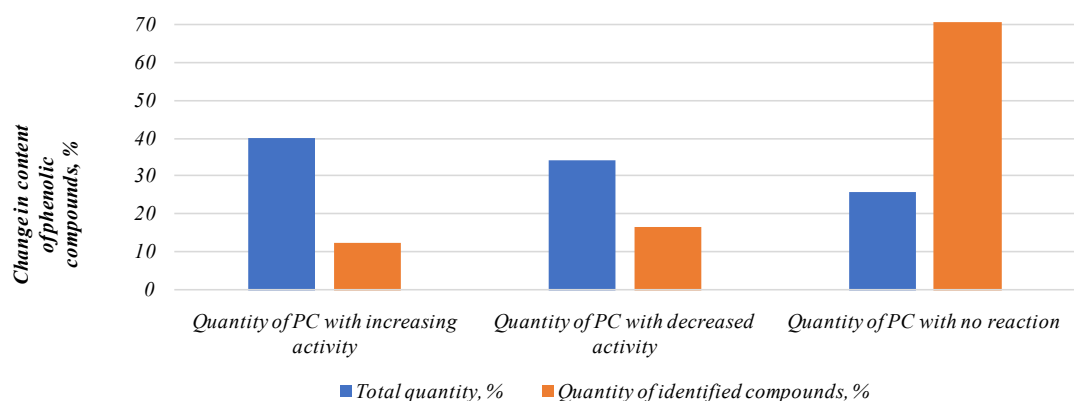


Fig. 1. The influence of a weak degree of disease by *Lophodermium needle cast* on the content of phenolic compounds (PC) in pine needles

Для идентификации фенольных соединений использовали вещества-свидетели (эталонные стандарты) фирм Fluka, Sigma-Aldrich. Идентификацию хроматографических пиков проводили по времени удерживания и спектральному соотношению пара-

метров абсорбции. Хроматографические анализы проводились в трех повторностях.

Статистическую значимость полученных результатов определяли с помощью t -критерия Стьюдента и непараметрического критерия Манна – Уитни.

Результаты (Results)

Морфометрические показатели двухлетних сеянцев сосны преимущественно не достигли требуемых стандартов для Среднего Урала. Так, по высоте стволика у 94,8 % сеянцев (109 шт.) показатель составил менее 10 см, по диаметру у 78,3 % (90 шт.) был менее 2,0 мм. При этом для сеянцев со слабыми признаками поражения хвои шютте обыкновенным характерны более высокие значения высоты и диаметра стволика по сравнению с сеянцами без признаков поражения (контрольными). Напротив, хвоя, слабо пораженная шютте, имела меньшую длину по сравнению с контрольной. Выявленные нами различия между пораженными шютте и контрольными сеянцами статистически значимы (таблица 1).

Полученные нами результаты частично согласуются с результатами других исследователей, которые показали, что одной из реакций, наблюдаемой у проростков сосны обыкновенной на инфекционное полегание, вызванное действием *Fusarium moniliforme*, было сочетание подавления и стимуляции роста различных органов [10]. Более того, в литературе описаны примеры, когда патогены стимулировали повышение уровня ауксина в растениях, тем самым одновременно индуцируя их рост и подавляя защитные реакции [11].

Известно, что фенольные соединения являются также оптимальными индикаторами ранней диагностики физиологического состояния растений, в том числе при поражении патогенными грибами. Нами с помощью хроматографического анализа в каждом из образцов хвои было выявлено более 100

фенольных соединений. Общий сравнительный попарный анализ (всего 117 пар соединений) показал, что в хвое пораженных сеянцев у 40,17 % фракций содержание возрастало, у 34,19 % снижалось, а у 25,64 % практически не изменялось по сравнению с контрольными (рис. 1).

Из общего количества всех выявленных фенольных соединений было идентифицировано 24 вещества. Однако их сравнительный попарный анализ показал иное количественное распределение (см. рис. 1). Так, повышение содержания наблюдалось лишь у 12,51 % фракций, снижение – у 16,66 % фракций, отсутствие значимой реакции преобладало у большинства соединений – у 70,83 %.

Идентифицированные низкомолекулярные органические соединения были представлены преимущественно классами простых фенолов и их гликозидов (таблица 2), оксибензойных и оксикоричных кислот (таблица 3), а также флавоноидов (таблица 4).

Как показали результаты, в хвое пораженных сеянцев в наибольшей степени содержание возросло у изорамнетина (в 1,93 раза), кемпферола (в 1,63 раза) и бензойной кислоты (в 1,3 раза) по сравнению с контролем. Содержание ряда других фенольных соединений, напротив, заметно снизилось. В частности, галловой кислоты (в 1,87 раза), арбутина (в 1,44 раза), (+)-катехина (в 1,36 раза) и изокверцетина (в 1,26 раза). В содержании остальных идентифицированных соединений статистически значимых различий не выявлено.

Таблица 2
Сравнительный анализ идентифицированных простых фенолов и их гликозидов в хвое здоровых и пораженных шютте обыкновенным сеянцев

Наименование соединения	Абсорбция (мВ) $M \pm m$		Изменение содержания соединения (в % к контролю)
	Без признаков поражения (контроль)	Поражено около 10 %	
Гидрохинон	$32,23 \pm 6,63$	$23,70 \pm 6,38$	–26,46
Арбутин*	$242,33 \pm 31,86$	$168,33 \pm 4,41$	–30,54*
Салицин	$55,84 \pm 1,66$	$58,27 \pm 14,55$	+4,35
Салидрозид	$38,18 \pm 4,25$	$25,66 \pm 3,78$	–32,79

Примечание. мВ – милливольт; М – среднее арифметическое значение, m – стандартная ошибка среднего; статистически значимые различия с применением критерия Манна – Уитни при $p \leq 0,05$ отмечены символом (*).

Table 2
Comparative analysis of identified simple phenols and their glycosides in the needles of healthy and affected seedlings

Name of the compound	Absorption (mV) $M \pm m$		Change in compound content (% of control)
	No signs of disease (control)	About 10 % affected	
Hydroquinon	32.23 ± 6.63	23.70 ± 6.38	–26.46
Arbutin*	242.33 ± 31.86	168.33 ± 4.41	–30.54*
Salicin	55.84 ± 1.66	58.27 ± 14.55	+4.35
Salidroside	38.18 ± 4.25	25.66 ± 3.78	–32.79

Note. mV – millivolt; M – arithmetic mean, m – standard error of the mean; statistically significant differences using the Mann – Whitney test at $p \leq 0.05$ are marked with a symbol (*).

Таблица 3
Сравнительный анализ идентифицированных органических кислот
в хвое здоровых и пораженных шютте обыкновенным сеянцев сосны

Наименование соединения	Абсорбция (мВ) $M \pm m$		Изменение содержания соединения (в % к контролю)
	Без признаков поражения (контроль)	Поражено около 10 %	
Аскорбиновая кислота	150,33 ± 46,77	144,66 ± 32,19	-3,77
Галловая кислота*	285,00 ± 44,44	152,00 ± 14,74	-46,67*
Кафтаровая кислота	22,47 ± 8,78	23,37 ± 7,43	+4,00
Кофейная кислота	26,80 ± 1,97	22,23 ± 3,53	-17,05
5-кофеоилхинная кислота	50,71 ± 4,15	52,80 ± 4,33	+4,12
Феруловая кислота	10,14 ± 0,60	11,25 ± 0,96	+10,95
Бензойная кислота*	13,82 ± 1,14	18,65 ± 0,91	+34,95*

Примечание. мВ – милливольт; М – среднее арифметическое значение, m – стандартная ошибка среднего; статистически значимые различия по критерию Манна – Уитни при $p \leq 0,05$ отмечены символом (*).

Table 3
Comparative analysis of identified organic acids in the needles of healthy
and affected seedlings of Scots pine

Name of the compound	Absorption (mV) $M \pm m$		Change in compound content (% of control)
	No signs of disease (control)	About 10 % affected	
Ascorbic acid	150.33 ± 46.77	144.66 ± 32.19	-3.77
Gallic acid *	285.00 ± 44.44	152.00 ± 14.74	-46.67*
Caftaric acid	22.47 ± 8.78	23.37 ± 7.43	+4.00
Caffeic acid	26.80 ± 1.97	22.23 ± 3.53	-17.05
5-caffeoylquinic acid	50.71 ± 4.15	52.80 ± 4.33	+4.12
Ferulic acid	10.14 ± 0.60	11.25 ± 0.96	+10.95
Benzoic acid *	13.82 ± 1.14	18.65 ± 0.91	+34.95*

Note. mV – millivolt; M – arithmetic mean, m – standard error of the mean; statistically significant differences using the Mann – Whitney test at $p \leq 0.05$ are marked with a symbol (*).

Таблица 4
Сравнительный анализ идентифицированных флавоноидов в хвое здоровых
и пораженных шютте обыкновенным сеянцев сосны

Наименование соединения	Абсорбция (мВ) $M \pm m$		Изменение содержания соединения (в % к контролю)
	Без признаков поражения (контроль)	Поражено около 10 %	
(+)-катехин*	32,09 ± 2,64	23,47 ± 0,75	-26,86*
Таксифолин (дигидрокверцетин)	45,61 ± 2,74	45,20 ± 3,41	-0,90
Лютеолин	3,93 ± 0,75	3,71 ± 0,47	-5,60
Апигенин	3,05 ± 0,52	3,36 ± 0,66	+10,16
Акацетин	24,50 ± 4,87	21,31 ± 1,82	-13,02
Рутин	62,07 ± 2,33	63,56 ± 2,65	+2,40
Изокверцетин*	8,25 ± 0,58	6,54 ± 0,28	-20,73*
Гиперозид	109,16 ± 2,51	142,11 ± 15,85	+30,18
Феникулин	103,92 ± 0,62	94,85 ± 5,56	-8,73
Мирицетин	39,92 ± 6,06	34,41 ± 2,43	-13,80
Кверцетин	15,04 ± 1,06	12,86 ± 1,45	-14,49
Изорамнетин*	5,78 ± 0,39	11,14 ± 0,86	+92,73*
Кемпферол*	4,48 ± 0,085	7,31 ± 1,01	+63,17*

Примечание. мВ – милливольт; М – среднее арифметическое значение, m – стандартная ошибка среднего; статистически значимые различия по критерию Манна – Уитни при $p \leq 0,05$ отмечены символом (*).

Table 4

Comparative analysis of identified flavonoids in the needles of healthy and affected seedlings of Scots pine

Name of the compound	Absorption (mV) <i>M</i> ± <i>m</i>		Change in compound content (% of control)
	No signs of disease (control)	About 10 % affected	
(+)-catechin*	32.09 ± 2.64	23.47 ± 0.75	–26.86*
Taxifolin (dihydroquercetin)	45.61 ± 2.74	45.20 ± 3.41	–0.90
Luteolin	3.93 ± 0.75	3.71 ± 0.47	–5.60
Apigenin	3.05 ± 0.52	3.36 ± 0.66	+10.16
Acacetin	24.50 ± 4.87	21.31 ± 1.82	–13.02
Rutin	62.07 ± 2.33	63.56 ± 2.65	+2.40
Isoquercetin*	8.25 ± 0.58	6.54 ± 0.28	–20.73*
Hyperoside	109.16 ± 2.51	142.11 ± 15.85	+30.18
Fenicolin	103.92 ± 0.62	94.85 ± 5.56	–8.73
Myricetin	39.92 ± 6.06	34.41 ± 2.43	–13.80
Quercetin	15.04 ± 1.06	12.86 ± 1.45	–14.49
Isorhamnetin*	5.78 ± 0.39	11.14 ± 0.86	+92.73*
Kaempferol*	4.48 ± 0.085	7.31 ± 1.01	+63.17*

Note. mV – millivolt; *M* – arithmetic mean, *m* – standard error of the mean; statistically significant differences using the Mann-Whitney test at *p* ≤ 0.05 are marked with a symbol (*).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты, полученные нами, показали, что в целом содержание фенольных соединений в хвое увеличивается даже при очень слабой степени поражения сосны шютте обыкновенным. Идентификация фенольных соединений позволила выявить из них наиболее чутко реагирующие на присутствие патогена. Согласно нашим результатам, это были флавоноиды изорамнетин и кемпферол, а также бензойная кислота.

Флавоноиды изорамнетин и кемпферол, относящиеся к группе флавонолов, обнаружены во многих растениях. К настоящему времени известно, что в растениях наблюдается усиление синтеза флавонолов в условиях действия засух, высоких температур, УФ-излучения и засоления почв. Так, недавние исследования показали повышение концентрации флавонолов в ответ на засуху у сосны приморской (*Pinus pinaster* Ait.) и дуба каменного (*Quercus ilex* L.) [12]. Более того, флавонолы в условиях абиотического стресса, кроме антиоксидантных и защитных функций, способны опосредованно регулировать рост растений. Установлены также противогрибковые свойства флавонолов [13].

Установлено, что изорамнетин (3-метилкверцетин) обладает цитотоксическими, противомикробными, противовирусными, антиоксидантными, противоаллергическими, гепатопротекторными, кардиоваскулярными противораковыми, противовоспалительными, противодиабетическими и нематоцидными свойствами. Показано, что изорамнетин активен против штаммов фузариума остропорового (*Fusarium oxysporum*) и трутовика жестковолосистого (*Trametes hirsuta*), а также аспергилла

дымящего (*Aspergillus fumigatus*) [14]. Выявлено, что изорамнетин проявляет противогрибковую активность, усиливая синтез окислительных веществ и увеличивая проницаемость клеточной мембраны патогена [15].

Кемпферол известен кардиопротекторным, нейропротекторным, противовоспалительным, противодиабетическим, антиоксидантным, противомикробным и противоопухолевым действиями. Кемпферол защищает растения от окислительного стресса и инфекций, повышает устойчивость к болезням, регулирует синтез гормонов роста [16]. Противогрибковая активность кемпферола недостаточно изучена по сравнению с его антибактериальной активностью. Тем не менее известно, что кемпферол подавляет рост некоторых грибов, таких как *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* и *Saccharomyces cerevisiae* [13]. Фунгицидные свойства кемпферола также были подтверждены в отношении серой гнили *Botrytis cinerea* [17].

Бензойная кислота относится к группе оксibenзойных кислот и их производных. Она обнаружена во многих растениях, а также у некоторых микроорганизмов и грибов [18]. Бензойная кислота выступает в качестве предшественника различных первичных и вторичных метаболитов в растениях, регулирует их рост, участвует в эндогенных сигнальных реакциях растений на действие различных биотических и абиотических стрессов [19–20]. Описаны противомикробные и аллелопатические свойства бензойной кислоты, содержащейся в корневых выделениях различных видов растений, таких как ячмень, арахис, клубника, табак, а также салат [18]. Более того, защитное действие против аль-

тернариоза (*Alternaria solani*) у томатов также было отмечено при экзогенном применении бензойной кислоты [20]. Сходные данные были получены при обработке бензойной кислотой древесины масличной пальмы (*Elaeis guineensis*), которая привела к подавлению роста гриба *Ganoderma boninense* более чем на 80 %. При этом бензойная кислота проявляла мощную противогрибковую активность за счет механизма, связанного с нарушением проницаемости мембран патогенных клеток [19]. Кроме того, бензойная кислота также может служить предшественником салициловой кислоты, которая участвует в индуцированной резистентности и ре-

акции гиперчувствительности у растений [19–20]. Таким образом, активация защитной реакции растений на ранней стадии заражения может снизить внедрение и распространение патогенов.

Результаты показали, что в хвое двухлетних сеянцев сосны при незначительной степени пораженности шютте обыкновенным возрастает содержание у 40,17 % фенольных соединений, в особенности у изорамнетина, кемпферола и бензойной кислоты, по сравнению с контролем. Это свидетельствует о проявлении защитной реакции у сеянцев сосны на слабое поражение шютте обыкновенным на биохимическом уровне.

Библиографический список

1. Чураков Б. П., Алексеев И. А., Чураков Д. Б. Лесная фитопатология: учебник для вузов / Под ред. проф. Б. П. Чуракова. Изд. 2-е, стер. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 364 с.
2. Воробьева М. В. Болезни древесных растений [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/11505> (дата обращения: 29.10.2024).
3. Стеценко С. К., Андреева Е. М., Терехов Г. Г. К вопросу о фитопатологической безопасности использования лесной подстилки для борьбы с пестицидным загрязнением почвы в лесопитомнике // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53, № 2. С. 124–130. DOI: 10.1134/S0026364819020107.
4. Vázquez-González C., Sampedro L., López-Goldar X., Solla A., Vivas M., Rozas V., Lombardero M. J., Zas R. Inducibility of chemical defences by exogenous application of methyl jasmonate is long-lasting and conserved among populations in mature *Pinus pinaster* trees // Forest Ecology and Management. 2022. Vol. 518. Article number 120280. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120280.
5. Wilson S. K., Pretorius T., Naidoo S. Mechanisms of systemic resistance to pathogen infection in plants and their potential application in forestry // BMC Plant Biol. 2023. Vol. 23 (1). Article number 404. DOI: 10.1186/s12870-023-04391-9.
6. Beniušytė E., Čėsniienė I., Sirgedaitė-Šėžienė V., Vaitiekūnaitė D. Genotype-dependent jasmonic acid effect on *Pinus sylvestris* L. growth and induced systemic resistance indicators // Plants. 2023. Vol. 12 (2). Article number 255. DOI: 10.3390/plants12020255.
7. Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šėžienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials // Silva Fennica. 2020. Vol. 54 (4). Article number 10276. DOI: 10.14214/sf.10276.
8. Khanday A. H., Badroo I. A., Wagay N. A., Rafiq S. Role of phenolic compounds in disease resistance to plants // Plant Phenolics in Biotic Stress Management. 2024. Pp. 455–479. DOI: 10.1007/978-981-99-3334-1_19.
9. Saini N., Anmol A., Kumar S., Wani A. W., Bakshi M., Dhiman Z. Exploring phenolic compounds as natural stress alleviators in plants- a comprehensive review // Physiological and Molecular Plant Pathology. 2024. Vol. 133. Article number 102383. DOI: 10.1016/j.pmp.2024.102383.
10. Никитина С. М., Шатунова М. П., Тараканов В. В., Кальченко Л. И. Ростовые реакции сосны обыкновенной на токсические метаболиты гриба *Fusarium moniliforme* // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 200. С. 264–274.
11. Van Dijk L. J. A., Ehrlén J., Tack A. J. M. Direct and insect-mediated effects of pathogens on plant growth and fitness // Journal of Ecology. 2021. Vol. 109 (7). Pp. 2769–2779. DOI: 10.1111/1365-2745.13689.
12. Laoué J., Fernandez C., Ormeño E. Plant flavonoids in Mediterranean species: a focus on flavonols as protective metabolites under climate stress // Plants (Basel). 2022. Vol. 11 (2). Article number 172. DOI: 10.3390/plants11020172.
13. Al Aboody M. S., Mickymaray S. Anti-fungal efficacy and mechanisms of flavonoids // Antibiotics. 2020. Vol. 9 (2). Article number 45. DOI: 10.3390/antibiotics9020045.
14. Gomez-Zorita S., Trepiana J., Milton-Laskibar I., Macarulla M. T., Eseberri I., Arellano-Garcia L., Merino-Valdeolmillos R., Alisdair McGeoch I., Fernandez-Quintela A., Portillo M. P. Isorhamnetin: Current knowledge and potential benefits for disease management // Handbook of Dietary Flavonoids. 2023. DOI: 10.1007/978-3-030-94753-8_15-1.
15. Silva B. C. F. L., Matias R., Oliveira A. K. M., Corrêa B. O., Pinto L. S., Costa R. F., Heredia-Vieira S. C. Chemical constituents and antifungal potential of *Attalea geraensis* Barb. Rodr. (Arecaceae) palm leaves, a species

native to the Cerrado of Brazil // *Brazilian Journal of Biology*. 2023. Vol. 83 (4). Article number e271577. DOI: 10.1590/1519-6984.271577.

16. Ramzan M., Haider S. T. A., Hussain M. B., Ehsan A., Datta R., Alahmadi T. A., Ansari M. J., Alharbi S. A. Potential of kaempferol and caffeic acid to mitigate salinity stress and improving potato growth // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14 (1). Article number 21657. DOI: 10.1038/s41598-024-72420-0.

17. Zhao H., Wang G., Shen S., Liang W., Zhao Z., Li D. Perillyl alcohol, a natural monoterpene, controls the gray mold on tomato via inducing jasmonic acid and kaempferol production // *Postharvest Biology and Technology*. 2024. Vol. 216 (8). Article number 113062. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2024.113062.

18. Windisch S., Walter A., Moradtalab N., Walker F., Höglinger B., El-Hasan A., Ludewig U., Neumann G., Grosch R. Role of Benzoic Acid and Lettucenin A in the Defense Response of Lettuce against Soil-Borne Pathogens // *Plants (Basel)*. 2021. Vol. 10 (11). Article number 2336. DOI: 10.3390/plants10112336.

19. Fernanda R., Siddiqui Y., Ganapathy D., Ahmad K., Surendran A. Suppression of ganoderma boninense using benzoic acid: impact on cellular ultrastructure and anatomical changes in oil palm wood // *Forests*. 2021. Vol. 12 (9). Article number 1231. DOI: 10.3390/f12091231.

20. Nehela Y., Taha N. A., Elzaawel, A. A., Xuan T. D., A. Amin M., Ahmed M. E., El-Nagar A. Benzoic acid and its hydroxylated derivatives suppress early blight of tomato (*Alternaria solani*) via the induction of salicylic acid biosynthesis and enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense machinery // *Journal of Fungi*. 2021. Vol. 7 (8). Article number 663. DOI: 10.3390/jof7080663.

Об авторах:

Марина Ильдаровна Яковлева, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8709-3825, AuthorID 631210. E-mail: hmi81@mail.ru

Геннадий Григорьевич Терехов, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2312-9224, AuthorID 140685.

E-mail: terekhov_g_g@mail.ru

References

1. Churakov B. P., Alekseev I. A., Churakov D. B. Forest phytopathology: textbook for universities. 2nd ed., stereotypical. Saint Petersburg: Lan', 2023. 364 p. (In Russ.)

2. Vorob'yeva M. V. Diseases of woody plants [Internet]. 2022 [cited 2024 Oct 29]. Available from: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/11505>. (In Russ.)

3. Stetsenko S. K., Andreeva E. M., Terekhov G. G. On the question of phytopathological safety of the use of forest litter to combat the pesticide soil contamination in nursery. *Mycology and Phytopathology*. 2019; 53 (2): 124–130. DOI: 10.1134/S0026364819020107. (In Russ.)

4. Vázquez-González C., Sampedro L., López-Goldar X., Solla A., Vivas M., Rozas V., Lombardero M. J., Zas R. Inducibility of chemical defences by exogenous application of methyl jasmonate is long-lasting and conserved among populations in mature *Pinus pinaster* trees. *Forest Ecology and Management*. 2022; 518: 120280. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120280.

5. Wilson S. K., Pretorius T., Naidoo S. Mechanisms of systemic resistance to pathogen infection in plants and their potential application in forestry. *BMC Plant Biol*. 2023; 23 (1): 404. DOI: 10.1186/s12870-023-04391-9.

6. Beniušytė E., Čėsniienė I., Sirgedaitė-Šėžienė V., Vaitiekūnaitė D. Genotype-dependent jasmonic acid effect on *Pinus sylvestris* L. growth and induced systemic resistance indicators. *Plants*. 2023; 12 (2): 255. DOI: 10.3390/plants12020255.

7. Marčiulynas A., Sirgedaitė-Šėžienė V., Žemaitis P., Jansons Ā., Baliuckas V. Resistance of Scots pine half-sib families to *Heterobasidion annosum* in progeny field trials. *Silva Fennica*. 2020; 54 (4): 10276. DOI: 10.14214/sf.10276.

8. Khanday A. H., Badroo I. A., Wagay N. A., Rafiq S. Role of phenolic compounds in disease resistance to plants. *Plant Phenolics in Biotic Stress Management*. 2024: 455–479. DOI: 10.1007/978-981-99-3334-1_19.

9. Saini N., Anmol A., Kumar S., Wani A. W., Bakshi M., Dhiman Z. Exploring phenolic compounds as natural stress alleviators in plants- a comprehensive review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2024; 133: 102383. DOI: 10.1016/j.pmpp.2024.102383.

10. Nikitina S. M., Shatunova M. P., Tarakanov V. V., Kal'chenko L. I. Scots pine growth responses to toxic metabolites of fungus *Fusarium moniliforme*. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2012; 200: 264–274. (In Russ.)

11. Van Dijk L. J. A., Ehrlén J., Tack A. J. M. Direct and insect-mediated effects of pathogens on plant growth and fitness. *Journal of Ecology*. 2021; 109 (7): 2769–2779. DOI: 10.1111/1365-2745.13689.
12. Laoué J., Fernandez C., Ormeño E. Plant flavonoids in Mediterranean species: a focus on flavonols as protective metabolites under climate stress. *Plants (Basel)*. 2022; 11 (2): 172. DOI: 10.3390/plants11020172.
13. Al Aboody M. S., Mickymaray S. Anti-fungal efficacy and mechanisms of flavonoids. *Antibiotics*. 2020; 9 (2): 45. DOI: 10.3390/antibiotics9020045.
14. Gomez-Zorita S., Trepiana J., Milton-Laskibar I., Macarulla M. T., Eseberri I., Arellano-Garcia L., Merino-Valdeolmillos R., Alisdair McGeoch I., Fernandez-Quintela A., Portillo M. P. Isorhamnetin: Current knowledge and potential benefits for disease management. *Handbook of Dietary Flavonoids*. 2023. DOI:10.1007/978-3-030-94753-8_15-1.
15. Silva B. C. F. L., Matias R., Oliveira A. K. M., Corrêa B. O., Pinto L. S., Costa R. F., Heredia-Vieira S. C. Chemical constituents and antifungal potential of *Attalea geraensis* Barb. Rodr. (Arecaceae) palm leaves, a species native to the Cerrado of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 2023; 83 (4): e271577. DOI: 10.1590/1519-6984.271577.
16. Ramzan M., Haider S. T. A., Hussain M. B., Ehsan A., Datta R., Alahmadi T. A., Ansari M. J., Alharbi S. A. Potential of kaempferol and caffeic acid to mitigate salinity stress and improving potato growth. *Scientific Reports*. 2024; 14 (1): 21657. DOI: 10.1038/s41598-024-72420-0.
17. Zhao H., Wang G., Shen S., Liang W., Zhao Z., Li D. Perillyl alcohol, a natural monoterpene, controls the gray mold on tomato via inducing jasmonic acid and kaempferol production. *Postharvest Biology and Technology*. 2024; 216 (8): 113062. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2024.113062.
18. Windisch S., Walter A., Moradtalab N., Walker F., Höglinger B., El-Hasan A., Ludewig U., Neumann G., Grosch R. Role of Benzoic Acid and Lettucenin A in the Defense Response of Lettuce against Soil-Borne Pathogens. *Plants (Basel)*. 2021; 10 (11): 2336. DOI: 10.3390/plants10112336.
19. Fernanda R., Siddiqui Y., Ganapathy D., Ahmad K., Surendran A. Suppression of ganoderma boninense using benzoic acid: impact on cellular ultrastructure and anatomical changes in oil palm wood. *Forests*. 2021; 12 (9): 1231. DOI: 10.3390/f12091231.
20. Nehela Y., Taha N. A., Elzaawel, A. A., Xuan T. D., A. Amin M., Ahmed M. E., El-Nagar A. Benzoic acid and its hydroxylated derivatives suppress early blight of tomato (*Alternaria solani*) via the induction of salicylic acid biosynthesis and enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense machinery. *Journal of Fungi*. 2021; 7 (8): 663. DOI: 10.3390/jof7080663.

Authors' information:

Marina I. Yakovleva, candidate of biological sciences, researcher, laboratory of reforestation, forest protection and forest management, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8709-3825, AuthorID 631210. *E-mail: hmi81@mail.ru*

Gennady G. Terekhov, doctor of agricultural sciences, leading researcher, laboratory of reforestation, forest protection and forest management, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2312-9224, AuthorID 140685. *E-mail: terekhov_g_g@mail.ru*

Роль государственной политики и субъектов хозяйствования по производству пищевых продуктов в экономике России

Е. В. Килимник

Уральский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, Екатеринбург, Россия

E-mail: kilimnik_06@mail.ru

Аннотация. В условиях роста мировой конкуренции за рынки сбыта, оказывающей влияние на отечественную внутреннюю и экспортную агропродовольственную политику и, соответственно, на увеличение или уменьшение инвестиционных потоков в агроотрасль, а также сложных географических особенностей России, влияющих на развитие АПК, снижение численности сельского населения, размеров посевных площадей, инфляционных процессов и увеличения внутренних цен на пищевые товары оказывают прямое влияние на состояние продовольственной безопасности России, что актуализирует тему исследования.

Цель – комплексная оценка агрополитики государства, развития сельских территорий, роли АПК и его субъектов хозяйствования по производству пищевых товаров в решении вопросов продовольственной безопасности страны. **Методы.** Применение анализа и синтеза научных исследований, метод сравнения для статистических материалов, затрагивающих производство сельскохозяйственной продукции в России в 2018–2023 гг., что позволило определить эффективность субъектов хозяйствования в частности и сельского хозяйства страны в целом. **Научная новизна** работы состоит в применении комплексного подхода, включающего экономические, природно-климатические и социальные факторы в оценке эффективности агросектора экономики страны и субъектов хозяйствования. **Результаты.** В работе показан объем сельскохозяйственного производства в России на конец 2023 г., составивший суммарно в экономике страны по стоимости (в 2023 г.) 1394,7 млрд руб. Эти показатели свидетельствуют об общем улучшении состояния сельского хозяйства в стране, особенно в 2010-е годы. Предложена типология субъектов хозяйствования. Установлено, что наибольшие конкурентные преимущества в сельскохозяйственной отрасли России сохраняют возникшие в 2000-х годах сельскохозяйственные организации и агрохолдинги за счет объемов капиталовложений, производственных мощностей, количества работников и инновационных внедрений в производство (стоимость продукции в растениеводстве и животноводстве составила 5149,4 млрд руб. в 2022 г.). Выявлена роль страны в поставках зерна в страны Ближнего Востока и Северной Африки (более 2/3 от всего экспортного объема в 2023 г.).

Ключевые слова: аграрный сектор, субъекты хозяйствования, производство, продукция, торговля, развитие, внутренний рынок, защита, Россия, рынки

Для цитирования: Килимник Е. В. Роль государственной политики и субъектов хозяйствования по производству пищевых продуктов в экономике России // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 947–962. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-947-962>.

Дата поступления статьи: 23.10.2024, **дата рецензирования:** 09.02.2025, **дата принятия:** 21.03.2025.

The role of state policy and business entities in the production of food products in the Russian economy

E. V. Kilimnik

Ural Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia

E-mail: kilimnik_06@mail.ru

Abstract. In the context of growing global competition for sales markets, which affects the domestic domestic and export agro-food policy and, accordingly, the increase or decrease in investment flows into the agricultural sector, as well as the complex geographical features of Russia affecting the development of the agro-industrial complex, a decrease in the rural population, the size of sown areas, inflationary processes and an increase in domestic prices for food products – all these factors have a direct impact on the state of food security in Russia, which makes the topic of the study relevant. **The purpose** is a comprehensive assessment of the state agro-policy, the development of rural areas and the role of the agro-industrial complex and its business entities for the production of food products in solving issues of food security of the country. **Methods.** Application of analysis and synthesis of scientific research, the comparison method for statistical materials affecting the production of agricultural products in Russia in 2018–2023, which made it possible to determine the effectiveness of business entities in particular and the country's agriculture as a whole. The scientific novelty of the work consists in the application of an integrated approach, including economic, natural, climatic and social factors in assessing the effectiveness of the agricultural sector of the country's economy and business entities. **Results.** The work shows the volume of agricultural production in Russia at the end of 2023, which amounted to a total of 1394.7 billion rubles in the country's economy by value (in 2023). These indicators indicate a general improvement in the state of agriculture in the country, especially in the 2010s. A typology of business entities is proposed. It has been established that the greatest competitive advantages in the agricultural sector of Russia are retained by agricultural organizations and agroholdings that emerged in the 2000s (due to the volume of capital investments, production capacities, number of employees and innovative implementations in production) (the cost of production in crop and livestock production amounted to 5149.4 billion rubles in 2022). The country's role in grain supplies to the countries of the Middle East and North Africa (more than 2/3 of the total export volume in 2023) has been revealed.

Keywords: agricultural sector, business entities, production, products, trade, development, domestic market, protection, Russia, markets

For citation: Kilimnik E. V. The role of state policy and business entities in the production of food products in the Russian economy. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 947–962. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-947-962>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.10.2024, **date of review:** 09.02.2025, **date of acceptance:** 21.03.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Необходимость исследования ситуации в сельском хозяйстве страны и комплексной роли субъектов агрохозяйствования в системе АПК в обеспечении пищевыми продуктами населения и решении вопросов продовольственной безопасности во многом обусловлена происходящими процессами глобализации мирового хозяйства, ростом рыночной конкуренции, санкциями, сложными национальными природными условиями, влияющими на развитие отечественного сельского хозяйства и производства продовольствия. В этих условиях проводимая федеральными органами агрополитика по выполнению государственной программы импортозамещения и развития собственной региональной инфраструктуры по производству и переработке сельскохозяйственной продукции приобретает особую значимость для развития агросектора

экономики России в рамках политики всестороннего комплексного обеспечения продовольственной безопасности страны, что актуализирует тему исследования.

Методология и методы исследования (Methods)

Методологической основой представленной статьи послужил анализ и синтез научной литературы; в исследовании был применен метод сравнения в отношении анализа статистических материалов, затрагивающих производство сельскохозяйственной продукции в России в 2017–2023 годах, определившее результативность деятельности субъектов хозяйствования в частности и сельского хозяйства страны как системы обеспечения продовольственной безопасности в целом.

Результаты (Results)

В условиях решения вопроса импортозамещения почти незаметно для окружающего мира Рос-

сии удалось разрешить многолетнюю проблему нехватки продовольствия в стране.

В результате сегодня отечественное агропроизводство представляет собой динамично развивающуюся отрасль хозяйственно-экономического комплекса страны. Производство зерна и зернобобовых в современный период (2023 сельскохозяйственный год) достигло исторического рубежа. В итоге российское государство, которое с конца периода перестройки М. Горбачева активно импортировало пищевые товары, достигло уровня страны, входящей в пятерку мировых лидеров-экспортеров, производящих продовольственные товары не только для внутреннего, но и для внешнего рынка. В течение 2010-х годов отечественная продовольственная индустрия прогрессирует, повышая показатели по качеству производимой продукции. Это дает Российской Федерации дополнительный статус и значение среди мировых поставщиков продовольственных товаров.

Повышение производительности отечественного агропроизводства было во многом достигнуто увеличением показателя TFP, продемонстрировавшим более высокие производственные показатели, чем это было по аналогичным показателям в других государствах с развитой экономикой. Так, например, в 2015 году российская экономика по своим показателям TFP смогла занять 24-е место среди аналогичных показателей экономик 186 государств мира.

В современный период наблюдается тенденция увеличения показателей роста как для отдельных отраслей, так и для всего комплекса возрастания факторной производительности. При этом увеличение производственных показателей происходит благодаря следующим факторам: достижение большей результативности по организации хозяйственной деятельности, а также внедрение в производство нового машинного парка. В результате аналитические расчеты ФАО и ЕIU (Группа экономической разведки) поставили российское государство в число первых трех стран мира, в которых достигнут рост факторной производительности.

Своеобразным рубежом в дальнейшем увеличении показателей эффективности деятельности экономического сектора была возникшая масштабная рецессия 1998 года. Кризисные события в стране повлекли за собой сокращение импортных поставок продукции, с одной стороны, а с другой стороны, произошел подъем инвестиционных потоков в производство отечественных пищевых товаров и далее в общую систему агропроизводства и добывающую отрасль хозяйственно-экономического комплекса страны.

В результате ведущими показателями экономической эффективности стали резкое по своим масштабам увеличение инвестиционных вложений и общая оптимизация системы управления в эконо-

мике страны. В 2008 году в стране возникли новые кризисные явления, вызвавшие подобные действия со стороны правительства. Весна 2014 года, принесшая западные санкции и ответные внешнеэкономические шаги Российского руководства, повлекла за собой дальнейшую патерналистскую политику по защите национального товаропроизводителя.

Тем не менее инвестиции и улучшение управления в качестве факторов роста в настоящее время как политика в сельском хозяйстве страны уже исчерпывают себя.

В результате актуализация работы заключается в проведении исследования роли сельскохозяйственных предприятий (агрохолдингов, домовых и фермерских хозяйств) в развитии экономики страны и решении государственной задачи обеспечения продовольственной безопасности. В задачи анализа входят рассмотрение структуры и объема валовой продукции сельского хозяйства; определение производственных возможностей сельхозпредприятий в рамках принятой программы импортозамещения России; определение роста производства продукции сельского хозяйства в стране начиная с 2000-х годов.

Исходя из поставленных задач, затрагивающих эволюцию сельскохозяйственной отрасли экономики России с 90-х годов по 2023 год, целесообразно выделить этапы развития сельскохозяйственной отрасли страны, которые имеют свои особые черты (например, обусловленные тенденциями своего развития, типами хозяйств, государственной поддержкой, экспортными возможностями):

I этап – с 1990 по 2000 год;

II этап – с 2000 до 2010 год;

III этап – с 2010 до 2023 год.

Так, первый этап характеризуется тем, что в экономике позднего СССР и пореформенной России новым производственным явлением отечественной агроотрасли становятся товаропроизводители, представлявшие предприятия кооперативного и колхозно-совхозного направления деятельности в общей системе агропроизводства. При этом хозяйства населения (ЛПХ) в общей системе агропроизводства имели второстепенное значение. Их роль в основном сводилась к производству пищевых товаров для обеспечения аграриев и дополнительного получения финансовых доходов в семейный бюджет. Ситуация стала кардинально меняться к началу 90-х годов XX века. С началом реформ в России на селе возникла новая разновидность товаропроизводителей – фермерские хозяйства, имевшие небольшие производственные масштабы и направленные в своей практической деятельности на удовлетворение рыночного спроса, отличавшиеся этим от хозяйств населения (ЛПХ и придомовых хозяйств), которые были больше заинтересованы в собственном продовольственном и материальном обеспечении.

Уже в начале 90-х годов XX столетия в стране было зарегистрировано порядка 26 000 агропредприятий, в каждом из которых действовало более 300 работников. Эти производственные структуры контролировали около 8000 га земли. В комплексе они контролировали порядка 75 % всего агропроизводства российского государства. При этом производственные возможности хозяйств населения (ЛПХ) создавали порядка 25 % всех пищевых товаров в этот период времени. Одновременно с этим фермерское агропроизводство функционировало на 100 000 га земли в стране, создавая товары пищевого профиля для нужд рынка.

Но, несмотря на определенный рост на первом и втором этапах, фермерская и индивидуальная часть от общего объема агропроизводства в стране в этот период была сравнительно небольшой, не способной решить государственные задачи импортозамещения продукции в необходимом для страны объеме и полном насыщении рынка отечественной продукцией. Например, в 1990-е годы фермерами России производилось порядка 1–3 % сельскохозяйственной продукции, в которой доминировали зерновые, зернобобовые и подсолнечник [1]. Кроме того, на втором этапе развития отечественного АПК к 2006 году (за период 1996 – 2000 – 2005 годы) более 15 000 сельскохозяйственных организаций (сельскохозяйственные предприятия, крестьянские-фермерские хозяйства, индивидуальные предприниматели) прекратили свое производственное функционирование [1].

Согласно предварительным результатам сельскохозяйственной переписи, которую Росстат проводил в августе 2021 года, число сельхозорганизаций в России уменьшилось с 36 тысяч в 2016 году до 34,4 тысяч. Наибольшие потери зафиксированы среди малых и микропредприятий. Количество малых сельхозорганизаций сократилось с 7,1 тысячи до 6,5 тысячи, а микропредприятий – с 17,2 тысячи до 14,4 тысячи [2]. В то же время, число организаций, не входящих в категорию малых, увеличилось с 7,6 тысячи до 9,6 тысячи за этот период. Сократилось и количество крестьянских хозяйств, индивидуальных предпринимателей, а также некоммерческих объединений. Так, фермерских хозяйств стало меньше – с 136,7 тысячи до 102,4 тысячи, индивидуальных предпринимателей – с 38 тысяч до 20,8 тысячи, некоммерческих товариществ – с 75,9 тысячи до 72,2 тысячи [2].

Вместе с тем, площадь сельскохозяйственных земель на один объект переписи возросла как в сельхозорганизациях, так и в фермерских хозяйствах. Для сельхозорганизаций этот показатель вырос с 2,5 тысячи гектаров до 3,4 тысячи гектаров, а для фермерских хозяйств – с 256,3 гектаров до 476,8 гектаров. Во многом это произошло за счет разорения и ликвидации убыточных агропредприятий [2].

Численность работников, занятых в крупных и средних агропредприятиях, также уменьшилось за указанный период (1996–2005 годы) в 3,8 раза (рис. 1).

Несмотря на количественный спад фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей (разорение, закрытие убыточных хозяйств), на втором этапе развития отечественной агроотрасли объемы производства агропродукции в стране увеличились на 87 %, показав положительную динамику роста. Так, например, объемы выпуска зерна и мяса удвоились, был значительно увеличен выпуск пищевой продукции, улов рыбы увеличился на 60 % [3]. В 2000 году объемы самообеспеченности мясными продуктами составили 67 %, из которых 60 % производилось в хозяйствах населения (ЛПХ) россиян [4]. При этом, несмотря на всю положительную динамику в отрасли, это являлось явно недостаточным для осуществления продовольственной безопасности в масштабах страны.

На втором этапе развития агроотрасли для решения вопроса обеспечения продовольственной безопасности и развития отечественных субъектов хозяйствования с начала 2000-х годов в стране происходит создание больших по производственным масштабам и производственно-хозяйственному потенциалу агрохолдингов, которые вошли в существующую структуру российской системы АПК, представленную агропредприятиями, фермерским агропроизводством и ЛПХ (хозяйства населения: частные мелкие по производственным масштабам домохозяйства). В настоящее время крупные производственные агрокомпании можно структурировать по двум типам:

- 1) агрохолдинги;
- 2) самостоятельные агропроизводственные организации.

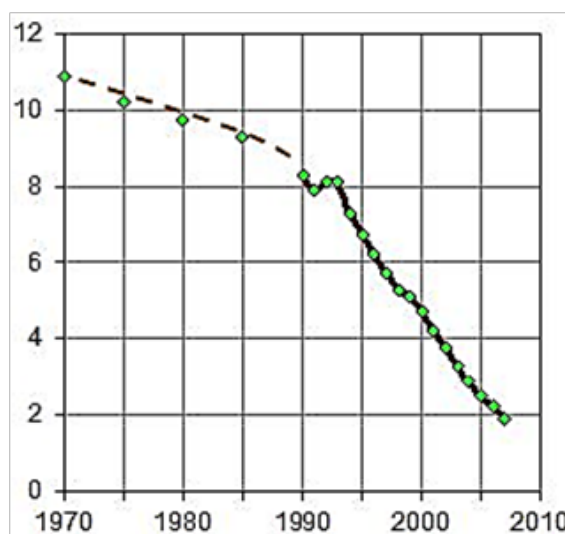


Рис. 1. Среднегодовая численность работников крупных и средних агропредприятий (1996–2005 гг.) [1]

Fig. 1. Average annual number of employees of large and medium-sized agricultural enterprises (1996–2005) [1]

Понимая всю необходимость импортозамещения и обеспечение отечественной агропродукцией населения страны в рамках продовольственной безопасности, особенно в условиях начавшихся западных санкций, Правительством России в апреле 2014 года принимается программа импортозамещения (№ 328) сельскохозяйственной продукции.

В результате на третьем этапе развития АПК страны, особенно начиная с 2018 года, в российском государстве произошли коренные структурные изменения в общей системе развития агропроизводства и пищевой продукции: масштабное увеличение производственного потенциала крупных агрохозяйств в общей системе создания пищевых товаров, которые стали создавать порядка 53 % всей агропродукции. Произошел производственный рост хозяйств населения (ЛПХ) и фермерской индустрии до 48 %. При этом на этапе развития АПК в 2018–2023 годах порядка 35 % приходилось на хозяйства населения (ЛПХ и придомовые хозяйства) и 13 % – фермерские хозяйства (таблица 1). Такая же ситуация роста наблюдается в производстве продукции сельского хозяйства (растениеводства и животноводства) страны по категориям функционирующих хозяйств.

В результате начиная с 2018 года к концу 2022 года произошел рост произведенной сельскохозяйственной продукции в хозяйствах населения России, общая стоимость которой составила порядка 2063,7 млрд руб. и 1350,4 млрд руб. в фермерских хозяйствах страны (таблица 2). При этом за период 2018–2023 годов наблюдается положительная динамика объемов произведенной сельскохозяйственной продукции сельскохозяйственными организациями, фермерскими хозяйствами и хозяйствами населения страны (ЛПХ и придомовые хозяйства) (таблица 1).

Торговля сельскохозяйственной продукцией. С решением вопроса по импортозамещению пище-

вых товаров и наполнению отечественного рынка (к периоду 2005 года), когда наблюдалось даже пере-производство отдельных видов агропродукции на внутреннем потребительском рынке, Россия стала входить в число стран-лидеров, занимающихся поставками пищевой продукции за рубеж. В результате ведущие экспортные позиции на международных рынках были достигнуты по поставкам российского зерна (ячмень, пшеница). После обеспечения запросов внутреннего рынка акцент сместился на экспортные поставки отечественной агропродукции. Решением Президента была поставлена задача достичь экспортного уровня отечественной агропродукции в 45 млрд долларов к 2024 году (Стратегия роста России к 2024 году). В результате внешнеполитическими задачами развития становятся достижение дальнейшего экспортного роста пищевой агропродукции и повышение конкурентных преимуществ в мировой рыночной системе торговли продовольствием.

Таким образом, рассматривая развитие АПК как системы хозяйствования и всех ее субъектов, следует отметить, что за 9 лет к 2019 году произошел значительный рост поставок отечественных пищевых товаров на 86 % с одновременным снижением объемов импортных поставок на 24,5 [9]. Но следует также отметить, что товарный ассортимент экспортируемой отечественной агропродукции сравнительно невелик. Например, в 2018 году только 35 из 170 поставляемых на внешний рынок продовольственных товаров обладали сравнительным превосходством с учетом понесенных производственных затрат. Российский экспорт в основном представляют следующие товары:

- рыбная продукция;
- морские продукты;
- подсолнечник;
- зерновые культуры: пшеница, ячмень.

Таблица 1

**Объем продукции сельского хозяйства по типам хозяйств в России в 2018–2023 гг.
(в процентах от объема продукции сельского хозяйства) [5–8]**

№	Типы агрохозяйств	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	Сельскохозяйственные организации	53	57,7	58,5	59,5	60,1	60,0
2	Хозяйства населения (ЛПХ и придомовые хозяйства)	35	28,6	26,6	25,1	24,1	25,1
3	Фермерские хозяйства	13	13,7	14,9	15,4	15,8	14,9

Table 1

**Agricultural output by farm type in Russia in 2018–2023 (as a percentage of agricultural production)
[5–8]**

No.	Structure of agricultural production by types of farms	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Agricultural organizations	53	57.7	58.5	59.5	60.1	60.0
2	Households of the population (Personal subsidiary farms and household plots)	35	28.6	26.6	25.1	24.1	25.1
3	Farms	13	13.7	14.9	15.4	15.8	14.9

Таблица 2

Продукция сельского хозяйства по категориям хозяйств
(в фактически действовавших ценах, млрд рублей) (2018–2022 гг.) [8]

Типы агрохозяйств	2018	2019	2020	2021	2022
Хозяйства всех категорий					
Продукция сельского хозяйства, в том числе:	348,8	5801,4	6468,8	7672,9	8563,5
растениеводства	2756,1	3056,4	3612,7	4427,3	4945,6
животноводства	2592,7	2745,0	2856,1	3245,6	3617,9
Сельскохозяйственные организации					
Продукция сельского хозяйства, в том числе:	3022,1	3348,4	3787,0	4566,8	5149,4
растениеводства	1438,8	1641,0	2021,8	2497,8	2829,4
животноводства	1583,3	1707,4	1765,2	2069,0	2320,0
Хозяйства населения (ЛПХ)					
Продукция сельского хозяйства, в том числе:	1656,7	1659,7	1717,6	1922,0	2063,7
растениеводства	787,1	778,8	798,2	934,8	978,9
животноводства	869,6	880,9	919,4	987,2	1 084,8
Крестьянские (фермерские) хозяйства					
Продукция сельского хозяйства, в том числе:	670,0	793,3	964,2	1184,1	1350,4
растениеводства	530,2	636,6	792,7	994,7	1 137,3
животноводства	139,8	156,7	171,5	189,4	213,1

Table 2

Agricultural output by farm categories (in actual prices; billion rubles) [8]

Types of agricultural enterprises	2018	2019	2020	2021	2022
Farms of all categories					
Agricultural products, including:	348.8	5801.4	6468.8	7672.9	8563.5
crop production	2756.1	3056.4	3612.7	4427.3	4945.6
livestock production	2592.7	2745.0	2856.1	3245.6	3617.9
Agricultural organizations (Personal subsidiary farms)					
Agricultural products, including:	3022.1	3348.4	3787.0	4566.8	5149.4
crop production	1438.8	1641.0	2021.8	2497.8	2829.4
livestock production	1583.3	1707.4	1765.2	2069.0	2320.0
Households of the population					
Agricultural products, including:	1656.7	1659.7	1717.6	1922.0	2063.7
crop production	787.1	778.8	798.2	934.8	978.9
livestock production	869.6	880.9	919.4	987.2	1 084.8
Peasant (farm) households					
Agricultural products, including:	670.0	793.3	964.2	1184.1	1350.4
crop production	530.2	636.6	792.7	994.7	1137.3
livestock production	139.8	156.7	171.5	189.4	213.1

Таблица 3

Российский экспорт пшеницы в 2018–2023 гг. (тыс. тонн) [10; 11]

Данные по годам	2018	2019	2020	2021	2023
Всего	43 336 289	31 814 989	37 077 918	32 661 528	66 000 000

Table 3

Russian production and export of wheat in 2018–2023 (thousand tons) [10; 11]

Data by year	2018	2019	2020	2021	2023
Total	43 336 289	31 814 989	37 077 918	32 661 528	66 000 000

Таблица 4

Российский импорт мяса и продуктов из мяса в 2018–2023 гг. (тыс. тонн) [12; 13]

Показатели по годам	2018	2019	2020	2023
Всего	750	715	584	586

Table 4

Russian imports of meat and meat products in 2018–2023 (thousand tons) [12; 13]

Indicators by year	2018	2019	2020	2023
Total	750	715	584	586

В результате малый ассортимент пищевой продукции снижает потенциальные возможности страны успешно интегрироваться в мировые цепочки по созданию стоимости. Особенно актуальным это становится для пищевых товаров с более повышенной добавленной стоимостью [9].

Анализ аграрной политики в России с 90-х по 2023 год. Переход к рыночной экономике в начале 1990-х годов привел к сокращению прямых и косвенных субсидий для отечественного сельского хозяйства, что в значительной степени способствовало снижению производства сельскохозяйственной продукции, особенно в подсекторе животноводства. Российское производство зерна и мяса резко снизилось в течение 90-х гг. XX века, при этом уровень производства обоих продуктов достиг своего постепенного роста на третьем этапе развития АПК к концу периода 2018–2023 годов (таблицы 3, 4). Валютно-финансовый кризис в России и падение цен на нефть в 2014 году привели к снижению ВВП впервые с 2009 года, что обусловило снижение притока инвестиций и, как следствие, привело к падению урожайности в сельском хозяйстве, поскольку субсидии сократились, как и кредиты. В этих условиях на конец года цены в России выросли в 1,8–2,1 раза. В результате руководство страны стало рассматривать это падение как ситуацию, которую необходимо исправлять. В итоге федеральная политика России вновь вернулась к системной государственной поддержке производителей сельскохозяйственного и животноводческого ассортимента пищевой продукции.

Материалы Федеральной таможенной службы в 2021 году показывают, что Российской Федерацией из зарубежных стран было приобретено 223 тыс. тонн мясных продуктов, что составило меньший объем импортируемых пищевых товаров (на 17,2 %), чем это было на год раньше. Ведущими поставщиками мясной продукции в страну стали Беларусь (42,8 %), Парагвай (22,9 %), Бразилия (15,2 %), Аргентина (6,6 %), Казахстан (4,7 %) [14, 15]. На этом фоне абсолютно выигрышными являются показатели экспорта российской пшеницы, объемы которой за 5 лет с 2018 по 2023 год выросли фактически на 50% (с 43 336 289 до 66 000 000 тыс. тонн), выведя страну в число мировых лидеров.

До 2015 года определяющим вектором развития российских сел была государственная программа

«Социальное развитие села до 2013 года» [16]. Так, в 2013 году Правительством было выделено порядка 198 млрд руб. С 2019 года выполнение государственной программы достижения роста регионов РФ стало определяться федеральным документом «Комплексное развитие сельских территорий» [13]. В результате Правительство России определило аграрную отрасль как национальное приоритетное направление, которое, соответственно, получило увеличенный объем финансирования. Все последующие расходы на решение этой федеральной задачи составили в рамках расходов государственного бюджета в 2018 году 241,3 млрд руб.; в 2019 году – порядка 303,6 млрд руб., в 2020 году – 294,8 млрд руб., в 2021 году – 312,3 млрд руб.; в 2022 году было выделено 380 млрд руб.; в 2023 году – 540 млрд руб. [17].

В результате общие расходы Правительства РФ в аграрном секторе экономики страны с 2013 по 2023 год выросли в 2,7 раза. Более того, некоторые правительственные решения были нацелены на улучшение качества пород КРС в отечественном животноводстве в основном за счет импорта элитного племенного скота [18]. Общефедеральные траты на развитие отечественного агросектора экономики и помощь ему составили чуть более 5 000 долларов на 1 км² всей территории страны. Если сравнивать эти показатели с оказанием материальной помощи в США, то в ней федеральная помощь составляет 23 000 долларов, а в государствах ЕС – 58 000 долларов. Если сравнить показатели, то для проживающего в сельской местности гражданина РФ объем федеральной помощи достигает порядка 310 долларов. При этом подобный показатель в странах ЕС уже превышает 850 000 долларов, а в Соединенных Штатах 1,6 млн долларов на одного селянина. При этом объем помощи по отношению к ВВП страны в России больше: 0,8 %. Это больше, чем в Соединенных Штатах и странах Евросоюза, где он колеблется в пределах 0,5–0,6 % [19]. Возможно, рост сельскохозяйственной отрасли страны будет достигнут при полном выполнении программы по федеральной помощи фермерским хозяйствам. Так, при ее выполнении траты Правительства РФ в 2019 году составили 7,4 млрд руб., в 2020 году – 1,8 млрд руб., в 2021 году – 4,6 млрд руб. При этом правительственные расходы, например, в 2019 году предусматривались в размере 8,0 млрд руб., в

2020 и 2021 годах – по 2,0 млрд руб. ежегодно. В принятой в июле 2012 года государственной программе достижения роста сельского сектора в экономике страны предусматривалось предоставление финансовой помощи и ассигнований из бюджета страны бюджетным фондам всех территориальным субъектам России. Например, на улучшение условий жилищного сектора всем гражданам, живущим в селах и деревнях, с учетом запланированных мер федеральных программ для территориальных субъектов России, предназначенных для планомерного роста сел страны, В целом Правительством страны было запланировано потратить в 2019 году 5,5 млрд рублей, в 2020 году – 5,7 млрд рублей, а в 2021 году – 3,7 млрд рублей, в 2022 году на строительство инфраструктуры села Правительством РФ было выделено 11,1 млрд руб., в 2023 году Правительством было направлено 4,6 млрд руб. на строительство и модернизацию жилья и инфраструктурных объектов в рамках развития сельских территорий страны.

Таким образом, в результате принятого Правительством России комплекса финансовых мер государственной поддержки села с 2019 по 2023 год бюджетные расходы на рост сельской инфраструктуры составили в среднем порядка 5 млрд руб. в год, что пока является недостаточным с учетом географических масштабов страны и необходимости комплексного развития сельских территорий с целью всестороннего (не только по зерну) решения проблемы импортозамещения. Тем не менее за период с 2018 по 2023 год урожай зерна и зернобобовых увеличился на 26,42 %: с 112,8 млн тонн до 142,6 млн тонн. При этом с 2019 по 2023 год в стране производство мясных полуфабрикатов также выросло на 28 %: с 3,66 млн тонн до 4,65 млн тонн. Эти показатели демонстрируют положительные сдвиги в политике импортозамещения страны, но по отдельным направлениям – производству мяса из КРС – еще не в полном необходимом для продовольственной безопасности России объеме.

Формирование и развитие новых сельскохозяйственных производств. С началом рыночных реформ в России действовали три основных типа региональных сельскохозяйственных производителей:

- 1) бывшие государственные и коллективные хозяйства – сельскохозяйственные предприятия (наименование Росстата);
- 2) приусадебные участки;
- 3) частные семейные и корпоративные фермерские хозяйства.

Для комплексного решения существующих проблем в стране с развитием отечественного сельскохозяйственного товаропроизводства в рамках обеспечения продовольственной безопасности с 2000-х годов в России был сформирован четвер-

тый тип хозяйства – агрохолдинги. Предложенная типология в исследовании основана на понятии типического, т. е. определенной нормы, идеала, образа. Степень отклонения, или, иначе говоря, степень близости к идеалу, к норме, т. е. экономически развитому самодостаточному сельскому хозяйству, у исследуемых агрохозяйств выявляется разная, как и у самих российских территорий в области производства сельскохозяйственной и животноводческой продукции по отношению к российскому региону-лидеру – Южному федеральному округу. Тем не менее всех их сближает общая направленность производства различной сельскохозяйственной и животноводческой продукции, хоть и в разных производимых объемах, что свидетельствует об их рейтинге и уровне социально-экономического развития в системе общего АПК страны.

Первый тип – сельскохозяйственные предприятия, которые были доминирующим производителем в постсоветский период, по крайней мере с точки зрения институциональной структуры и влияния на экономические показатели. В начале 1990-х гг. бывшие совхозы и колхозы, унаследованные от советского времени, были вынуждены реорганизоваться. Большинство из них стали корпоративными сельскохозяйственными предприятиями, принадлежащими их владельцам и наемным работникам. Однако на многих подобных сельхозпредприятиях в 2000-е годы произошли определенные изменения, касающиеся внутренней организации, управления и стимулирования труда. Эти корпоративные хозяйства остаются крупными в системе АПК по своим производственным площадям, имея в среднем почти по 4000 га (середина 2000-х годов). В 2019 году этот тип хозяйства контролировал примерно 75 % сельскохозяйственных угодий страны и производил благодаря имеющимся мощностям 48 % от всей сельскохозяйственной продукции, включая большую часть основных сельскохозяйственных культур и продуктов животноводства [20]. По результатам 2019 года российский рейтинг наиболее крупных собственников сельскохозяйственных угодий был представлен 61 компанией, которые имели общий земельный банк, контролировавший 14,2 млн га в стране, что почти на 800 000 га выше показателей предыдущего года [21]. Произведенная продукция данными организациями составила по стоимости 3022,1 млрд руб. Здесь рост за последние 10 лет показал утроение суммы. При этом доход от реализации сельскохозяйственной продукции 10 крупнейших российских агрохолдингов в 2023 году составил 1,6 трлн рублей.

Второй тип – домохозяйства, работающие при сельскохозяйственных предприятиях, которые сохранили прежнюю, еще советскую практику деятельности в виде небольших придомовых садово-огородных участков с правом потреблять или

продавать свою продукцию. Приусадебные участки долгое время производили непропорционально большую долю сельскохозяйственной продукции в стране, поскольку они, как правило, специализировались на производстве таких ценных продуктов, как мясо, фрукты и овощи. Эти частные производственные хозяйства российских субъектов агрохозяйствования часто имеют общие экономические отношения со своими основными производственными сельскохозяйственными предприятиями в тех или иных микрорайонах страны. Это сотрудничество и помощь, которую они получают (ресурсы, например корма для животных и птицы, по невысокой цене или бесплатно), позволяют им развивать свое придомовое ЛПХ и получать доходы от реализации своей продукции на рынке.

Третий тип сельхозпроизводителя в России – частные семейные и корпоративные фермерские хозяйства. Эти небольшие сельхозпредприятия были созданы в основном работниками на основе небольших семейных корпоративных сельских хозяйств, использовавших для этого свои ваучеры собственников в 90-е годы, что дало им возможность получить землю и отделиться от общего сельскохозяйственного производства в качестве независимых товаропроизводителей. В Российской Федерации в 2019 году насчитывалось 176,3 тыс. фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей, производящих продовольственную продукцию, а также 26,1 тыс. микропредприятий, 32,2 тыс. малых организаций сельскохозяйственного профиля. Эти показатели свидетельствуют об определенном росте фермерских производственных хозяйств на селе [22]. При этом по результатам 2019 года доля фермеров и кооперативов в рамках господдержки составила более 19 % [23]. Согласно разработанному Минсельхозом России государственному плану «Организация системы поддержки фермеров и роста сельхозкооперации», в стране в период 2019–2024 годов будет создано более 18 000 новых структур, представляющих собой структуры малого и среднего производственного типа, действующие в условиях сельской местности [23].

Вместе с домохозяйствами, сохранившими еще советскую практику деятельности на небольших придомовых участках с правом потреблять или продавать свою продукцию, общий размер сельскохозяйственных угодий, используемых на этих участках, увеличился с 226,5 га общей площади сельхозугодий в среднем на одно крестьянское (фермерское) хозяйство или на один объект переписи (га) в 2016 году до 456,3 га в 2021 году. При этом общая площадь сельскохозяйственных угодий в среднем на одного индивидуального предпринимателя в России также демонстрирует значительный ежегодный рост со 119,1 га в 2016 году до 306,6 га в 2021 году [24]. Так, например, уже в 2023 году в

стране насчитывалось порядка 307 000 индивидуальных сельских предпринимателей. В 2022 году общая площадь земельного фонда у крестьянских (фермерских) хозяйствах составила 6849 тыс. га, площадь земельного фонда ЛПХ и придомовых хозяйств насчитывала 6205,4 тыс. га [25].

Личные подсобные и другие индивидуальные хозяйства граждан при их экономическом анализе также демонстрируют небольшую динамику возростания с 0,5 га в 2016 году до 0,6 га в 2021 году [24]. Однако эта оценка включает совместное общественное использование лугов и пастбищ, предназначенных для выпаса скота. Стоимость произведенной крестьянскими производственными организациями продукции составила 670,0 млрд руб. Здесь рост за последние 10 лет к началу 2019 года показал утроение вырученной суммы от полученной сельскохозяйственной продукции. При этом выручка от реализации растениеводческой продукции в личных подсобных и индивидуальных хозяйствах составила 530,2 млрд руб. [26]. Как и другие сельскохозяйственные предприятия (корпоративные фермерские хозяйства, сельскохозяйственные производства), семейные фермерские хозяйства в России специализируются на производстве массовых культур, таких как зерно и семена подсолнечника. В условиях рыночной экономики России фермерские хозяйства не только получили практическую возможность для получения прибыли, но и должны стать самофинансируемыми, что, по сути, становится определенным стимулом их деятельности.

Начиная примерно с 2000 года, когда Россия стала более интегрированной в мировую сельскохозяйственную экономику, расширилась и международная торговля, увеличились иностранные инвестиции в сельское хозяйство страны с передачей и внедрением новых технологий. Большая их часть, импортируемая Россией, пришла в форме западной техники, семян (например, селекционно-гибридные семена кукурузы, поставляемые из Венгрии и Франции) и животноводства [18]. В результате в 2019–2021 годах в стране выросли импортные поставки семян кукурузы, которые предназначались для проведения посевных компаний. Так, по материалам российской таможенной службы, в 2020 году импортируемая масса составила 33,7 тыс. тонн, что на 27 % больше, чем в 2019 году [27]. При этом показатели урожайности кукурузы в стране довольно высоки (в отличие от периода до 2016 года): 14,3 млн тонн, полученные в 2019 году, возросли до 14,6 млн тонн в 2021 году [28]. Импортные семена также способствовали повышению урожайности семян подсолнечника. В результате проводимой сельскохозяйственной политики следует отметить повышение эффективности деятельности сельских производственных хозяйств фермерского типа и крупных сельхозпредприятий (тип).

В 2000-х годах в России возникло сельскохозяйственное предприятие нового типа в виде больших по своей производственной структуре агрохолдингов [29]. В своей деятельности этот новый тип сельхозпроизводства стал присоединять в свою систему действующих производственных структур уже существующие семейные и корпоративные фермерские хозяйства и интегрировать их в свою вертикальную структуру хозяйствования, в результате объединив первичное производство сельхозпродукции, ее обработку, распределение, а иногда и розничные продажи [30]. Конкурентные преимущества, которыми обладают агрохолдинги по сравнению с другими сельскохозяйственными типами производств, включают более легкие условия кредитования. Например, объединяя в единую структуру множество мелких производителей, они снижают кредитный риск банков, что, в свою очередь, применительно для них понижает применяемую банками процентную ставку. В системе агрохолдингов также уделяется повышенное внимание обучению менеджеров и всего персонала производственной структуры. Однако в современных исследовательских трудах не совсем понятно, представляют такие агрохолдинги современное рентабельное производство в российском сельском хозяйстве или нет. Например, исследование Х. Хокмана показывает, что агрохолдинги не являются более производительными или прибыльными в стране, чем другие крупные российские сельскохозяйственные предприятия [31].

Агрохолдинги развивались, в частности, как своеобразная реакция на рыночные и инфраструктурные (физические, коммерческие, институциональные) недостатки, с которыми столкнулись российские фермерские хозяйства [32]. Например, поставщики топлива и сельхозоборудования, с одной стороны, и оптовики и переработчики – с другой, как правило, это крупные и объединенные в корпорации производители. В условиях рынка они могут использовать свое экономическое и рыночное влияние по отношению к российским фермерам, к их потребностям и к их продукции, чтобы определять цены, по которым они продают свою и покупают у фермерских хозяйств их продукцию. Размеры российских агрохолдингов и существующая вертикальная структурная интеграция помогают им освободиться от насущных повседневных проблем, которые присущи фермерскому и частному производству и содействуют уменьшению операционности рыночных затрат. Это позволяет повышать рентабельность в деятельности агрохолдингов, что отличает их от других типов субъектов российского агрохозяйствования [29]. Однако в некоторых отечественных исследованиях отмечается, что агрохолдинги стали настолько большими, что страдают от своих размеров.

Исследуя современное российское сельское хозяйство и животноводческий комплекс по территориальному принципу развития в рамках проводимой государством агрополитики и решения вопроса продовольственной безопасности, можно увидеть, что эти крупные вертикально интегрированные агропроизводители (крупные сельскохозяйственные организации и агрохолдинги) в основном широко представлены в Южном федеральном округе России и играют важную роль в постоянной специализации крупного по своим объемам производства (в отличие от фермерского и домохозяйственного, что говорит об их высокой конкурентоспособности в отрасли). Например, агрохолдинги были движущей силой растущей птицеводческой отрасли России, которая в период с 2019 по конец 2021 года увеличила производство мяса индейки с 288,9 до 400,133 тыс. тонн, а в 2023 году этот показатель составил уже 422 тыс. тонн. В результате этого производственного роста доля индюшатины в совокупном производстве мяса птицы составила 9,8 %. Следует отметить, что в определенной степени это также вызвано спадом производства курятины. Так, в 2021 году в российском птицеводстве было произведено меньше курятины на 1,2–1,7 % (3,695 млн) по сравнению с показателями 2020 года, когда он составил 43,1 %. В следующем, 2021 году было произведено уже 45,7 % [33]. А в 2023 году объем курятины составил порядка 5,3 млн тонн, что было на 0,1 % меньше аналогичного результата 2022 года, но продемонстрировало абсолютный рост к результатам 2021 года [34], что может свидетельствовать о небольшой динамике в птицеводческой отрасли страны.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Отмечая принятый руководством страны курс на импортозамещение и комплексное обеспечение продовольственной безопасности и в соответствии с этим финансовую и материально-техническую поддержку отечественных субъектов агрохозяйствования, реализуемый в ходе третьего этапа развития агропромышленного сектора экономики России с 2010 до 2023 год, следует отметить, что производство продукции сельского хозяйства в России начиная с 2000 годов значительно возросло во многом благодаря деятельности в стране новой, действенной по своим производственным объемам системы крупных сельскохозяйственных организаций, лидирующих в конкуренции по производственно-финансовым показателям выпускаемой продукции крестьянским (фермерским) хозяйствам, включая индивидуальных предпринимателей, значительно опережая их по финансовым результатам 2019–2022 годов в системе АПК страны (таблица 5) с учетом занимаемых сельскохозяйственных угодий (таблица 6). Благодаря проводимой государством политике в области развития сельского хозяйства и

деятельности всех субъектов хозяйствования в системе совокупного агропромышленного комплекса страны, количественные данные по сельхозпроизводству показывают, что в настоящее время Россия является одним из ведущих мировых экспортеров такого стратегического товара, как зерно, заняв, второе место в мире по экспорту после Бразилии в 2024 году.

Определяющим условием социального и экономического роста аграрных регионов страны может выступать реализованная правительством РФ политика импортозамещения и создания всеобъемлющей продовольственной безопасности. Кроме того, для решения этого вопроса из бюджета страны в агро-сектор направляются:

- инвестиционные финансовые потоки;
- программа мер по льготному налоговому обложению;
- протекционизм государства во внешнеэкономических операциях, призванный содействовать экономическому росту субъектов агрохозяйствования.

В настоящее время Правительство РФ использует экономический потенциал агросектора также

и в качестве стратегии диверсификации экономики страны, которая слишком сильно привязана к нефтегазовой отрасли и получаемым экспортным доходам. Фактически при президенте В. Путине создание интегрированных крупных сельскохозяйственных организаций и агрохолдингов было дополнено проведением сельскохозяйственных реформ, которые сыграли важную роль в модернизации российской зерновой промышленности, принесшей успех российской хлебной продукции на мировых рынках (особенно в регионах Ближнего Востока и Северной Африки).

Несмотря на сельскохозяйственный рост, в стране можно выделить следующие недостатки, отрицательно влияющие на агросектор национальной экономики и ослабляющие систему продовольственной безопасности России:

- экономическая, социальная и инфраструктурная неразвитость многих сельских территорий России;
- низкий доход на одного человека в месяц (около 50 000 рублей в 2023 году), что особенно актуально для жителя села;

Таблица 5

Продукция сельского хозяйства по категориям хозяйств (в фактически действовавших ценах, млрд рублей) [8]

Годы	Сельскохозяйственные организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства, включая индивидуальных предпринимателей
2019	3348,4	1659,7	793,3
2020	3787,0	1717,6	964,2
2021	4566,8	1922,0	1184,1
2022	5149,4	2063,7	1350,4

Table 5

Agricultural output by farm category (in actual prices, billion rubles) [8]

Years	Agricultural organizations	Households of the population	Peasant (farm) households, including individual entrepreneurs
2019	3348.4	1659.7	793.3
2020	3787.0	1717.6	964.2
2021	4566.8	1922.0	1184.1
2022	5149.4	2063.7	1350.4

Таблица 6

Размер занимаемых посевных площадей сельскохозяйственных угодий по категориям хозяйств на 1 января 2022 г. (млн га) [8]

Посевная площадь	2019	2020	2021	2022
Сельскохозяйственные организации	53,3	52,7	52,7	53,7
Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	24,3	25,0	25,4	26,3
Личные подсобные хозяйства населения страны	2,3	2,3	2,3	2,3

Table 6

Size of occupied sown areas of agricultural lands by farm categories as of January 1, 2022 (million ha) [8]

Cultivated area	2019	2020	2021	2022
Agricultural organizations	53.3	52.7	52.7	53.7
Peasant (farm) households and individual entrepreneurs	24.3	25.0	25.4	26.3
Personal subsidiary farms of the country's population	2.3	2.3	2.3	2.3

– высокий процент на кредиты и сложность получения и выплаты долгосрочных кредитов селянами;

– существующие «ножницы цен» в промышленности и сельском хозяйстве, снижающие доходы селян;

– снижение доли инвестиций в агросектор страны;

– частое отсутствие в условиях инфляции и сложностей рынка необходимых средств у крестьян-фермеров и у владельцев ЛПХ на решение текущих производственных проблем;

– слабое взаимодействие субъектов хозяйствования с научно-производственными центрами и невысокое внедрение современных разработок в сельское хозяйство;

– недостаток в агросекторе экономики страны опытных специалистов;

– невысокое использование инноваций и цифровых технологий в практической деятельности;

– снижение количества научных кадров в сельскохозяйственных вузах страны;

– миграция работников агросферы в города.

В результате существующие недостатки препятствуют дальнейшему развитию сельского хозяйства, поскольку маргинализированная социальная среда несет риски для производства. В этих условиях региональные агрокомпании и более мелкие производители сельхозпродукции (домохозяйства и фермеры) не могут на постоянной основе привлекать квалифицированных сотрудников и развивать собственное производство, что ослабляет сельскую отрасль экономики страны.

Таблица 7

Отдельные показатели, характеризующие объем производства продукции сельского хозяйства в России (1990–2023 гг.) [34]

Показатели	1990 год	2000 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
Валовое производство продукции сельского хозяйства в сопоставимых ценах, млрд руб.	158,0	56,6	5,11	5,9	6,1	7,57	8,85	8,34
Доля продукции сельского хозяйства в ВВП РФ, %	16,4	5	3,5	4,5	4	4,2	5,76	5,46
Сумма государственных инвестиций, млрд руб.	51	1 165,2	17 595	19 318,8	20 118,4	846,3	885,8	925,8
Доля сельскохозяйственной отрасли в валовом внутреннем продукте (ВВП) России, % (сельскохозяйственные предприятия, Ф(К)Х, индивидуальные хозяйства)	15,4	5,5	3,5	3,4	Около 4	4,2	4,3	3,35
Экспорт сельхозпродукции, млрд долл.	Около 1	1,4	25,9	14,9	29,453	37,73	41,6	43,5
Импорт сельхозпродукции, млрд долл.	57,3	43	29,6	13,4	29,7	34,1	35,7	35,1

Table 7

Selected indicators characterizing the volume of agricultural production in Russia (1990–2023) [34]

Indicators	1990	2000	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Gross agricultural production in comparable prices, billion rubles	158.0	56.6	5.11	5.9	6.1	7.57	8.85	8.34
The share of agricultural production in the Russian Federation's GDP, %	16.4	5	3.5	4.5	4	4.2	5.76	5.46
Amount of public investment, billion rubles	51	1 165.2	17 595	19 318.8	20 118.4	846.3	885.8	925.8
The share of the agricultural sector in the gross domestic product (GDP) of Russia, % (Agricultural enterprises, farms, individual farms)	15.4	5.5	3.5	3.4	About 4	4.2	4.3	3.35
Export of agricultural products, billion dollars	About 1	1.4	25.9	14.9	29.453	37.73	41.6	43.5
Import of agricultural products, billion dollars	57.3	43	29.6	13.4	29.7	34.1	35.7	35.1

В предложенной работе проведено исследование структуры и объема валовой сельскохозяйственной продукции, определены конкурентные производственные возможности сельхозпроизводств АПК страны в рамках принятой программы импортозамещения и развития региональной инфраструктуры. На основании материалов Росстата определены рост объемов агропродукции в России начиная с 2000-х годов, увеличение доли произведенной продукции сельского хозяйства в ВВП страны, рост объемов государственных инвестиций, увеличение объемов экспорта и снижение объемов импорта сельскохозяйственной продукции (1990–2023 годы) (таблица 7) [34], что в целом демонстрирует успехи сельскохозяйственной отрасли экономики страны за период 2018–2023 годов.

В исследовании определен круг задач, которые следует решить в системе управления продовольственной политикой, чтобы защитить внутренний

рынок и сохранить свои стратегические позиции в области развития сельского хозяйства и поставок сельхозпродукции на мировые рынки. Кроме того, российским субъектам хозяйствования сегодня следует более активно использовать инновации и цифровые технологии для решения проблем, стоящих на пути устойчивого развития (проблемы плодородия, достижения более высокой продуктивности на гектар). Необходимы принятие национальной стратегии по сокращению пищевых отходов; определение большего учета потребностей различных групп потребителей, а также нивелирование ряда долгосрочных рисков в области экспортной ориентации страны, но главное – следует решить вопрос по развитию многих отстающих в социально-экономическом и техническом развитии сельских территорий России. Эта комплексная программа мер напрямую влияет на обеспечение продовольственной безопасности российского общества.

Библиографический список

1. Показатели развития сельского хозяйства России и стран мира [Электронный ресурс]. URL: <https://refru.ru/agriculture.html>. (дата обращения: 11.12.2024).
2. Число сельхозорганизаций в России за пять лет сократилось [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13406501?ysclid=mbq3g7hjc5964284354>. (дата обращения: 11.12.2024).
3. Россельхозбанк: изменение рациона помогло продлить жизнь россиянам на 10 лет [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rshb.ru/news/21122023-000001> (дата обращения: 11.12.2024).
4. С 2000 года производство сельхозпродукции в РФ выросло на 87 %, экспорт – в 30 раз – Патрушев [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/news/202402/s-2000-goda-proizvodstvo-selkhozprodukcii-v-rf-vyroslo-na-87-eksport-v-30-raz-patrushev?ysclid=mbovkhp2ue341236684> (дата обращения: 03.10.2024).
5. Правительство подвело итоги развития АПК с 2000 годов [Электронный ресурс]. URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/news/chto-stalo-s-rossijskim-apk-za-20-s-lishnim-let?ysclid=mbovner24c849090609> (дата обращения: 03.10.2024).
6. Продукция сельского хозяйства по категориям хозяйств [Электронный ресурс]. URL: https://web.archive.org/web/20190512151610/http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/sx/tab-sell.htm (дата обращения: 05.10.2024).
7. Сельское хозяйство в России. 2023 [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_xoz_2023.htm (дата обращения: 15.10.2024).
8. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство [Электронный ресурс]. URL: <https://24.rosstat.gov.ru/foilder/45022?ysclid=mbowkzp55k244446231> (дата обращения: 05.10.2024).
9. Сельское хозяйство в России. 2023: статистический сборник [Электронный ресурс]. Москва: Росстат, 2023. 103 с. URL: <https://centerapktver.ru/upload/iblock/788/bexml0i1due6hu7x3fz87f2p87p0lutt.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).
10. Förderung der Landwirtschaft in Russland aus politökonomischer Sicht [Электронный ресурс]. URL: <https://laender-analysen.de/russland-analysen/395/foerderung-der-landwirtschaft-in-russland-aus-politoeconomischer-sicht> (дата обращения: 15.10.2024).
11. Экспорт и импорт зерна в России [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Экспорт_и_импорт_зерна_в_России?ysclid=mbp0koklyp85478648 (дата обращения: 05.10.2024).
12. Экспорт российского зерна в 2023 году превысил 66 млн тонн на сумму почти \$ 16,5 млрд [Электронный ресурс]. URL: <https://portnews.ru/news/359906/?ysclid=mbq633dr5o430695219> (дата обращения: 05.10.2024).
13. Эксперты назвали продукты, которые могут стать лидерами по росту цен в ближайшие два года [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/11111765?ysclid=mbrrwf18fo203994291> (дата обращения: 05.10.2024).
14. Названы главные поставщики мяса в Россию в 2023 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/nazvany-glavnye-postavshhiki-myasa-v-rossiyu-v-2023-godu-5944719?ysclid=mbp0sws1pd656940936> (дата обращения: 05.10.2024).

15. Импорт в Россию: «мясо и продукты из мяса» [Электронный ресурс]. URL: <https://ru-stat.org/date-Y2019-2020/RU/import/world/0102> (дата обращения: 05.10.2024).
16. О федеральной целевой программе [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901834635?ysclid=mbq5prrhj1172698320> (дата обращения: 25.10.2024).
17. Постановление Правительства РФ от 31 мая 2019 г. № 696 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации „Комплексное развитие сельских территорий“ и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/72260516/?ysclid=mbp14p5t5u759048406> (дата обращения: 25.10.2024).
18. Бюджет [Электронный ресурс]. URL: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2018/12/main/BDG_2019_all.pdf (дата обращения: 25.10.2024).
19. Карлова Н., Мокшина П., Серова Е., Тихонова Т., Шик О. Российский агропродовольственный сектор: основные тенденции в 2005 году // В кн.: Российская экономика в 2005 году. Тенденции и перспективы / Под ред. Е. Гайдара, С. Синельникова-Мурылева, Н. Главацкой. Москва: Институт экономики переходного периода, 2006. С. 218–243.
20. Расходы бюджета на сельское хозяйство в РФ и странах ОЭСР [Электронный ресурс]. URL: https://inagres.hse.ru/data/2020/05/09/1546683557/Olga%20Shik_Russian%20budget%20and%20OECD%20indicators.pdf (дата обращения: 25.10.2024).
21. Чернышкова В. В. Анализ состояния сельскохозяйственной в России [Электронный ресурс]. URL: <https://novainfo.ru/article/14632?ysclid=mbqa0qrau0417599879> (дата обращения: 25.10.2024).
22. Крупнейшие владельцы сельскохозяйственной земли в России на 2023 год [Электронный ресурс]. URL: https://www.befl.ru/upload/iblock/61d/61ddd_322468d1cd4f56f38f05780dc76.pdf (дата обращения: 25.10.2024).
23. Минсельхоз РФ: доля фермеров в производстве сельхозпродукции выросла почти до 14% [Электронный ресурс]. URL: https://dairynews.ru/news/minselkhoz-rf-dolya-fermerov-v-proizvodstve-selkho.html?ysclid=mbp1e0irzl36583_5853 (дата обращения: 25.10.2024).
24. В РФ с 2019 по 2024 г. может быть создано более 18 тыс. предприятий малого агробизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://milknews.ru/index/malyj-agrobiznes-proekt.html?ysclid=mbp1gamtrr417782738> (дата обращения: 25.10.2024).
25. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года (на 1 августа 2021 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/documents/2022/12/21/-itogiselhozperepisi-doc.html> (дата обращения: 25.10.2024).
26. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году [Электронный ресурс]. URL: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/doc_nation_report_2022.pdf?ysclid=mbp1t2q3xu579243547 (дата обращения: 25.10.2024).
27. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года: статистический сборник [Электронный ресурс]. Москва: ИИЦ «Статистика России», 2022. 420 с. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Census_agr_2021.pdf (дата обращения: 25.10.2024).
28. О поставках семян кукурузы для посева в Россию в 2001–2021 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/corn/o-postavkakh-semyan-kukuruzy-dlya-poseva-v-rossiyu-v-2001-2021-gg.html?ysclid=mbp1yq26lh10554483> (дата обращения: 25.10.2024).
29. Рекорды земледелия России: обновление 2019–2021 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/145254> (дата обращения: 25.10.2024).
30. Embedded institutions and the persistence of large farms in in Russia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45696/1/635373289.pdf> (дата обращения: 25.10.2024).
31. Gataulina E. A., Uzun V. Yu., Petrikov A. V., Yanbykh R. G. Vertical integration in the agricultural sector: agricultural firms and agricultural holdings in Russia // In: Johan F. M. Swinnen, ed. In the dynamics of vertical coordination in the agri-food chains of Eastern Europe and Central Asia. Washington: World Bank, 2005. Pp. 45–71.
32. Хокманн Х., Бокушева Р., Безлепкина И. Членство в агрохолдинге: влияет ли это на результаты? // Ежеквартальный журнал международного сельского хозяйства. 2009. № 48 (1). С. 25–46.
33. Производство индейки в России в 2021 году и рейтинг крупнейших производителей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.moshol14.ru/press-centr/novosti-rynka/indeyka-2021/?ysclid=mbq5zclor3140893743> (дата обращения: 25.10.2024).
34. Производство мяса (говядина, свинина, курица) в РФ в 2023 году [Электронный ресурс]. URL: <https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa/?ysclid=mbp26yjpcc80899992> (дата обращения: 10.10.2024).

Об авторе:

Евгений Витальевич Килимник, член-корреспондент Российской академии естествознания, доктор искусствоведения, профессор кафедры философии, психологии и гуманитарных дисциплин, Уральский юри-

References

1. Indicators of agricultural development in Russia and other countries [Internet] [cited 2024 Dec 11]. Available from: <https://refru.ru/agriculture.html>. (In Russ.)
2. The number of agricultural organizations in Russia has decreased over five years [Internet] [cited 2024 Dec 11]. Available from: <https://tass.ru/ekonomika/13406501?ysclid=mbq3g7hjc5964284354>. (In Russ.)
3. Rosselkhozbank: changing the diet helped to extend the life of Russians by 10 years [Internet] [cited 2024 Dec 11]. Available from: <https://www.rshb.ru/news/21122023-000001>. (In Russ.)
4. Since 2000, agricultural production in the Russian Federation has grown by 87 %, exports – 30 times – Patrushev [Internet] [cited 2024 Oct 03]. Available from: <https://specagro.ru/news/202402/s-2000-goda-proizvodstvo-selkhozprodukcii-v-rf-vyroslo-na-87-eksport-v-30-raz-patrushev?ysclid=mbovkhp2ue341236684>. (In Russ.)
5. The government summed up the development of the agro-industrial complex since 2000 [Internet] [cited 2024 Oct 03]. Available from: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/news/chto-stalo-s-rossijskim-apk-za-20-s-lishnim-let?ysclid=mbovner24c849090609>. (In Russ.)
6. Agricultural output by farm categories [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: https://web.archive.org/web/20190512151610/http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/sx/tab-sell.htm. (In Russ.)
7. Agriculture in Russia. 2023 [Internet] [cited 2024 Oct 15]. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Sel_xoz_2023.htm. (In Russ.)
8. Agriculture, hunting and forestry [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/45022?ysclid=mbowkzp55k244446231>. (In Russ.)
9. Agriculture in Russia. 2023: statistical collection [Internet]. Moscow: Rosstat, 2023 [cited 2024 Oct 15]. 103 p. Available from: <https://centerapktver.ru/upload/iblock/788/bexml0i1due6hu7x3fz87f2p87p0lutt.pdf>. (In Russ.)
10. Forecasting of land use in Russia from a political perspective [Internet] [cited 2024 Oct 15]. Available from: <https://laender-analysen.de/russland-analysen/395/forecasting-of-land-wirtschaft-in-russland-from-a-political-perspective>.
11. Grain export and import in Russia [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Экспорт_и_импорт_зерна_в_России?ysclid=mbp0koklyp85478648. (In Russ.)
12. Russian grain exports in 2023 exceeded 66 million tons worth almost \$ 16.5 billion [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: <https://portnews.ru/news/359906/?ysclid=mbq633dr5o430695219>. (In Russ.)
13. Experts named products that could become leaders in price growth in the next two years [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: <https://tass.ru/ekonomika/11111765?ysclid=mbrrwf18fo203994291>. (In Russ.)
14. The main suppliers of meat to Russia in 2023 have been named [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: <https://www.tatar-inform.ru/news/nazvany-glavnye-postavshhiki-myasa-v-rossiyu-v-2023-godu-5944719?ysclid=mbp0swslpd656940936>. (In Russ.)
15. Import to Russia: “meat and meat products” [Internet] [cited 2024 Oct 05]. Available from: <https://ru-stat.org/date-Y2019-2020/RU/import/world/0102>. (In Russ.)
16. About the federal target program [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/901834635?ysclid=mbq5prhj1172698320>. (In Russ.)
17. Resolution of the Government of the Russian Federation of May 31, 2019 No. 696 “On approval of the state program of the Russian Federation “Integrated development of rural areas” and on amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation” (with amendments and additions) [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://base.garant.ru/72260516/?ysclid=mbp14p5t5u759048406>. (In Russ.)
18. Budget [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2018/12/main/BDG_2019all.pdf. (In Russ.)
19. Karlova N., Mokshina P., Serova E., Tikhonova T., Shik O. Russian agri-food sector: main trends in 2005. In: E. Gaydar, S. Sinelnikov-Murylev, N. Glavatskaya (eds.) *Russian economy in 2005. Trends and prospects*. Moscow: Institute for the Economy in Transition, 2006. Pp. 218–243. (In Russ.)
20. Budget expenditures on agriculture in the Russian Federation and OECD countries [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: https://inagres.hse.ru/data/2020/05/09/1546683557/Olga%20Shik_Russian%20budget%20and%20OECD%20indicators.pdf. (In Russ.)
21. Chernyshkova V. V. Analysis of the state of agriculture in Russia [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://novainfo.ru/article/14632?ysclid=mbqa0qrau0417599879>. (In Russ.)

22. Largest owners of agricultural land in Russia in 2023 [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://www.befl.ru/upload/iblock/61d/61ddd322468d1cd4f56f38f05780dc76.pdf>. (In Russ.)
23. Ministry of Agriculture of the Russian Federation: the share of farmers in agricultural production has grown to almost 14 % [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://dairynews.ru/news/minselkhoz-rf-dolya-fermerov-v-proizvodstve-selkho.html?ysclid=mbp1e0irzl36583 5853>. (In Russ.)
24. More than 18 thousand small agribusiness enterprises may be created in the Russian Federation from 2019 to 2024 [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://milknews.ru/index/malyj-agrobiznes-proekt.html?ysclid=mbp1gamtrr417782738>. (In Russ.)
25. The main results of the agricultural micro-census of 2021 (on the 1st August 2021) [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://rg.ru/documents/2022/12/21/-itogiselhozperepisi-doc.html>. (In Russ.)
26. Federal State Service [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/doc_nation_report_2022.pdf?ysclid=mbp1t2q3x u579243547. (In Russ.)
27. The main results of the agricultural micro-census of 2021: a statistical collection [Internet]. Moscow: IIC “Statistics of Russia”, 2022 [cited 2024 Oct 25]. 420 p. Available from: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Census_agr_2021.pdf. (In Russ.)
28. On the supply of corn seeds for sowing in Russia in 2001–2021. [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://agrovesti.net/lib/industries/corn/o-postavkakh-semyan-kukuruzy-dlya-poseva-v-rossiyu-v-2001-2021-gg.html?ysclid=mbp1yq26lh105544 83>. (In Russ.)
29. Russian agricultural records: updated 2019–2021 [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://sdelanounas.ru/blogs/145254>. (In Russ.)
30. Embedded institutions and the persistence of large farms in Russia [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45696/1/635373289.pdf>. (In Russ.)
31. Gataulina E. A., Uzun V. Yu., Petrikov A. V., Yanbykh R. G. Vertical integration in the agricultural sector: agricultural firms and agricultural holdings in Russia // In: Johan F. M. Swinnen, ed. In the dynamics of vertical coordination in the agri-food chains of Eastern Europe and Central Asia. Washington: World Bank, 2005. Pp. 45–71.
32. Hockmann H., Bokusheva R., Bezlepkina I. Membership in an agroholding: does it affect the results? // Quarterly Journal of International Agriculture. 2009. No. 48 (1). Pp. 25–46.
33. Turkey production in Russia in 2021 and rating of the largest producers [Internet] [cited 2024 Oct 25]. Available from: <https://www.moshol14.ru/press-centr/novosti-rynka/indeyka-2021/?ysclid=mbq5zc1 or3140893743>. (In Russ.)
34. Meat production (beef, pork, chicken) in the Russian Federation in 2023 [Internet] [cited 2024 Oct 10]. Available from: <https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa/?ysclid=mbp26yjjprc80899992>. (In Russ.)

Author's information:

Evgeniy V. Kilimnik, corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, doctor of art history, professor of the department of philosophy, psychology and humanities, Ural Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2949-465X, AuthorID 679025. E-mail: kilimnik_06@mail.ru

Модель формирования качества сельскохозяйственных товаров как основа повышения их социальной значимости

А. Ф. Никишин, О. С. Карашук[✉], Е. А. Майорова, А. И. Больдясов

Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

[✉]E-mail: kseniak72@mail.ru

Аннотация. Цель исследования заключалась в разработке модели количественной взаимосвязи между затратами на обеспечение качества сельскохозяйственных товаров и прибылью от продажи этих товаров при определенной конъюнктуре рынка для получения возможности выбора необходимого уровня качества и повышения на этой основе социальной значимости товаров. Моделирование осуществлялось в отношении товаров, качество которых изменяется на каждом этапе цепочки производства и реализации, для чего наиболее соответствующими являются сельскохозяйственные товары. **Методы** исследования включали экономико-математическое моделирование и математический анализ. Разработанная модель основывалась на математической взаимосвязи между затратами на качество и прибылью от продаж при различных объемах продаж, зависящих от уровня качества товаров. Пределом для дальнейшего наращивания затрат на качество выступали такой объем продаж и соответствующий ему уровень качества, при которых прекращалось приращение прибыли. При этом величина увеличения объема продаж являлась зависимой от коэффициента его чувствительности к уровню качества, так как улучшение характеристик товаров воспринимается потребителями на различных товарных рынках неодинаково. Определение величины затрат на качество сводилось к решению математической задачи по поиску экстремума функции прибыли от продаж после нахождения частной производной по величине затрат на качество. **Научная новизна** исследования состоит в применении нового подхода к выбору уровня качества сельскохозяйственных товаров исходя из затрат на качество и соответствующей им прибыли от продаж, что делает возможным при таком выборе учет социальной значимости товаров. **Результатом** исследования стала модель взаимосвязи затрат на обеспечение качества и соответствующей им прибыли от продаж при изначально определенном уровне качества сельскохозяйственных товаров, формирующем их социальную значимость.

Ключевые слова: сельскохозяйственные товары, качество, затраты, рентабельность продаж, прибыль от продаж, сельское хозяйство, торговля, социальная значимость

Для цитирования: Никишин А. Ф., Карашук О. С., Майорова Е. А., Больдясов А. И. Модель формирования качества сельскохозяйственных товаров как основа повышения их социальной значимости // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 963–972. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-963-972>.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-28-00657, <https://rscf.ru/project/24-28-00657/>

Дата поступления статьи: 22.01.2025, **дата рецензирования:** 25.04.2025, **дата принятия:** 22.05.2025.

Model of formation of quality of agricultural products as a basis for increasing their social significance

A. F. Nikishin, O. S. Karashchuk✉, E. A. Mayorova, A. I. Boldyasov

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

✉E-mail: kseniak72@mail.ru

Abstract. The purpose of the study was to develop a model of the quantitative relationship between the costs of ensuring the quality of agricultural products and the profit from sales of these products under a certain market situation in order to be able to select the required quality level and increase the social significance of the products on this basis. Modeling required choosing products whose quality changes at each stage of the production and sales chain, for which agricultural products were recognized as the most appropriate. The research **methods** included economic and mathematical modeling and mathematical analysis. The developed model was based on the mathematical relationship between the costs of quality and sales profit at different sales volumes depending on the quality level of the products. The limit for further increasing the costs of quality was such a sales volume and the corresponding quality level at which the profit increase ceased. In this case, the magnitude of the increase in sales volume was dependent on the coefficient of its sensitivity to the quality level, since the improvement in product characteristics is perceived by consumers in different product markets differently. Determining the amount of costs of quality was reduced to solving a mathematical problem of finding the extremum of the function of sales profit after finding the partial derivative with respect to the amount of costs of quality. **The scientific novelty** of the study consists in the application of a new approach to the selection of the quality level of agricultural products based on the costs of quality and the corresponding profit from sales, which makes it possible to take into account the social significance of the products when making such a choice. **The result** of the study was a model of the relationship between the costs of quality assurance and the corresponding profit from sales at an initially determined quality level of agricultural products, which forms their social significance.

Keywords: agricultural products, quality, costs, profitability of sales, profit from sales, agriculture, trade, social significance

Acknowledgements. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24-28-00657, <https://rscf.ru/project/24-28-00657/>

For citation: Nikishin A. F., Karashchuk O. S., Mayorova E.A., Boldyasov A. I. Model of formation of quality of agricultural products as a basis for increasing their social significance. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 963–972. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-963-972>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.01.2025, **date of review:** 25.04.2025, **date of acceptance:** 22.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Высокое качество выступает одним из ключевых факторов социальной значимости товаров на предприятиях различных отраслей деятельности. По мере насыщения рынка товарами потребители предъявляют все более высокие запросы к их качеству, так как желают получить для себя наилучшее предложение. А каждый хозяйствующий субъект, соответственно, стремится к максимизации качества реализуемых товаров и проводит комплекс мероприятий, направленных на достижение требуемого потребителями качества.

Обеспечение качества сельскохозяйственных товаров имеет ключевое значение для потребительского рынка России и любой другой страны. Очевидно, что практически все продукты питания либо являются изначально готовой к употреблению произведенной сельскохозяйственной продукцией,

либо выпускаются из сельскохозяйственного сырья в отраслях пищевой промышленности. И также сельскохозяйственная продукция является сырьевой основой для отраслей производства непродовольственных товаров.

Исследователи проблем качества сельскохозяйственных товаров отмечают, что рост уровня качества этих товаров служит необходимым условием укрепления позиций предприятий и страны на внутреннем и внешних рынках. Как определяется в современных работах, повышение качества сельскохозяйственных товаров сопровождается увеличением удельного веса товаров с более высокой добавленной стоимостью [1]. И также исследователи указывают на то, что спрос на сельскохозяйственные товары особенно чувствителен к самому широкому составу характеристик товаров, что еще более повышает значимость деятельности по обе-

спечению высокого качества в отношении таких товаров [2].

В торговле, которая обеспечивает распределение и сбыт сельскохозяйственных товаров, формирование высокого качества также имеет первоочередное значение. Сельскохозяйственные товары требуют от торговых предприятий осуществления ряда действий по формированию и поддержанию их качества, в т. ч. сохранности, приведения в соответствие со спросом и др., что влечет выполнение торговлей большого состава дополнительных производственных функций, включая доработку, подсортировку, упаковку, создание особых условий и пр. При отсутствии действий по поддержанию и повышению качества сельскохозяйственных товаров со стороны торговых предприятий и, соответственно, связанных с ними расходов, обесценивается и утрачивается качество, созданное на предыдущих этапах производства сельскохозяйственной продукции.

Улучшение качественных характеристик сельскохозяйственных товаров, как правило, подразумевает увеличение осуществленных затрат. Управление затратами на качество обычно сводится к поиску такой их величины, при которой достигается баланс между расходуемыми на обеспечение качества средствами и экономическим эффектом от роста уровня качества.

Особое значение качество товаров приобретает на предприятиях малых форм хозяйствования, которые имеют ограниченные финансовые возможности для его повышения, но при этом обеспечивают значительные объемы производства и реализации продукции. По итогам 2023 года малые предприятия обеспечивали 14 % оборота организаций в сфере пищевого производства и 27 % оборота сельскохозяйственных организаций¹.

Таким образом, качество товаров является важным условием развития предприятий по производству и продаже сельскохозяйственных товаров, что определяет необходимость управления затратами на качество на основе научно обоснованных методов и подходов.

Проблема управления затратами на качество находит отражение в российских и зарубежных публикациях, посвященных разработке системы менеджмента качества на предприятиях различных отраслей.

В ряде российских публикаций рассматривается вопрос о возможностях оптимизации затрат на качество на основе экономико-математических моделей. Наиболее распространенный подход к решению указанной проблемы заключается в поиске такого уровня качества, при котором обеспечивается минимум совокупных затрат на качество. Различия в результатах исследований по данному вопросу

обусловлены, как правило, уровнем и принципами детализации затрат на качество, а также особенностями вводимых авторами предположений о спецификации функций, описывающих изменение соответствующих статей затрат. Например, в статье С. В. Рябовой и В. А. Сергеева задача по минимизации затрат на качество решается путем поиска оптимального числа дефектов [3], для чего находится производная функции процента выхода доли годных товаров [4].

В российской научной литературе также встречаются альтернативные концепции управления затратами на качество. Процессный подход позволяет более детально классифицировать затраты на качество [5]. В статье И. И. Лившица сопоставляются результаты функционирования системы менеджмента качества при использовании различных вариантов PAF-модели управления затратами на его обеспечение [6].

В иностранной научной литературе политика управления затратами на качество обычно рассматривается более широко, во взаимосвязи с другими социально-экономическими проблемами и явлениями. Например, в статье С. Г. Цяна исследуется влияние государственных субсидий на рост затрат на качество и уровень качества продукции сельского хозяйства в Китае [7]. Многие работы посвящены общим проблемам организации системы менеджмента качества на предприятии. Так, в работе П. Кокот-Ступень предлагаются методы учета и анализа затрат на качество, система мониторинга их величины, распределение ответственности за управление ими [8]. В статье П. Брица и коллег доказывается важность осведомленности о затратах на качество, для достижения которой используется PAF-модель [9].

В иностранной литературе тщательно прорабатывается методологическая основа различных моделей управления качеством. Например, работа Дж. Мартина и коллег посвящена уточнению сущности основных понятий, используемых при работе с качеством, для чего авторами были опрошены менеджеры по качеству нескольких крупных шведских фирм [10]. В статье К. Теплики и С. Хурны разрабатывается классификация затрат на качество для их последующей оптимизации в рамках PAF-модели [11].

Как видим, в целях оптимизации затрат на качество зарубежными авторами применяются широкий перечень методов, отличающихся как математическими способами моделирования, так и лежащими в их основе научными подходами. В российских публикациях, как правило, оптимальный уровень качества привязывается к минимуму совокупных затрат на качество [12].

Иностранными исследователями разрабатываются также комбинированные методы управления затратами на качество. Так, в работе Г. Пипия и

¹ Малое и среднее предпринимательство в России 2024. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13223> (дата обращения: 09.01.2025).

Л. Черненко предлагает двухуровневую оптимизацию затрат на качество на основе линейного программирования [13]. В статье Л. П. Фернандес и коллег разрабатывается процедура многокритериального решения с использованием матрицы «затраты – результат» относительно уровня качества и соответствующих затрат [14].

Как в российских, так и в зарубежных публикациях признается исключительная роль качества предлагаемых потребителям товаров с точки зрения увеличения финансовых результатов предприятия. Однако в рамках господствующих в научной литературе подходов к управлению затратами на качество чаще всего не учитываются рыночные показатели, непосредственно определяющие экономический эффект от реализации товаров того или иного качества. Уровень качества, при котором обеспечивается минимум соответствующих затрат исходя из внутренних процессов на предприятии, не является гарантией улучшения финансовых результатов при имеющемся спросе, предложении, уровне цен и других факторах.

Цель настоящего исследования заключается в разработке модели взаимосвязи между затратами на обеспечение качества сельскохозяйственных товаров и прибылью от продажи этих товаров при определенной конъюнктуре рынка для последующего выбора требуемого уровня качества товаров с учетом обеспечения на этой основе их высокой социальной значимости.

Методология и методы исследования (Methods)

В настоящем исследовании для получения модели определения необходимого уровня качества товаров использовались методы экономико-математического моделирования и математического анализа.

Разрабатываемая модель требовала для ее формирования и использования выбора таких товаров, качество которых подвержено значительным изменениям на всех этапах производства и реализации, что делало бы возможным выделение в особую статью расходов затрат на качество. В противном случае они остаются не идентифицированными отдельно и включаются в состав других статей расходов предприятия, так как качество в целом обеспечивается в результате всех видов внутренних работ предприятия и связанных с ними затрат (за счет трудовой деятельности работников по производству и продаже товаров, в результате осуществления транспортировки и пр.).

В ходе выбора моделируемых товаров наиболее подходящим их видом была признана сельскохозяйственная продукция, которая подвержена существенным изменениям качества на каждом из этапов товародвижения на пути от производителя к потребителю. В том числе изменение качества сельскохозяйственных товаров происходит как по естественным причинам (погодные условия, сроки годности и

пр.), так и вследствие деятельности хозяйствующих субъектов по обеспечению качества (управление качеством, применяемые технологии и пр.).

Для разрабатываемой модели определения необходимого уровня качества сельскохозяйственных товаров был использован подход, основанный на установлении взаимосвязи затрат на качество товаров с прибылью от продажи этих товаров при сложившейся конъюнктуре определенного рынка, в которой значимость для модели имеют величина рыночных цен, среднерыночный уровень затрат на производство и реализацию, а также степень чувствительности спроса покупателей к уровню качества товаров.

При моделировании предполагалось, что при изменении уровня качества сельскохозяйственных товаров хозяйствующий субъект не пересматривает свое решение относительно цены реализации на рынке. Данное допущение сделано в целях абстрагирования от ситуаций, выходящих за рамки влияния затрат на качество. Взаимосвязь цены товара и уровня качества относится к предмету разработки стратегий ценообразования на определенном типе рынка и, несомненно, заслуживает внимания в отдельных научных исследованиях, но не в данной работе. Таким образом, в проводимом исследовании рыночная цена задается экзогенно, участники рынка конкурируют между собой путем изменения уровня качества предлагаемых потребителям товаров, связанных с необходимыми расходами по обеспечению соответствующего уровня качества.

Принятие решения о затратах на качество представляет собой определенный алгоритм. На первом этапе хозяйствующий субъект определяет получаемую величину рентабельности продаж на выбранном рынке на основе расчета доли прибыли в цене реализации сельскохозяйственного товара при текущих рыночных ценах и с учетом затратно-производственной и реализации своего товара. Также предприниматель оценивает совокупную прибыль от продажи всех сельскохозяйственных товаров с учетом объемов спроса. Очевидно, что для получения прибыли от продажи сельскохозяйственных товаров при осуществлении затрат в их составе необходимо предусмотреть определенные расходы на обеспечение качества.

На следующем этапе хозяйствующий субъект оценивает возможность израсходовать больше средств на повышение уровня качества сельскохозяйственных товаров. При этом увеличение уровня затрат на качество будет возможным до тех пор, пока отмечаются положительная рентабельность продаж и прирост прибыли. Изменение затрат на качество не окажет влияния на все другие затраты, остающиеся неизменными по своему уровню в данной модели, что позволяет абстрагироваться от других затрат.

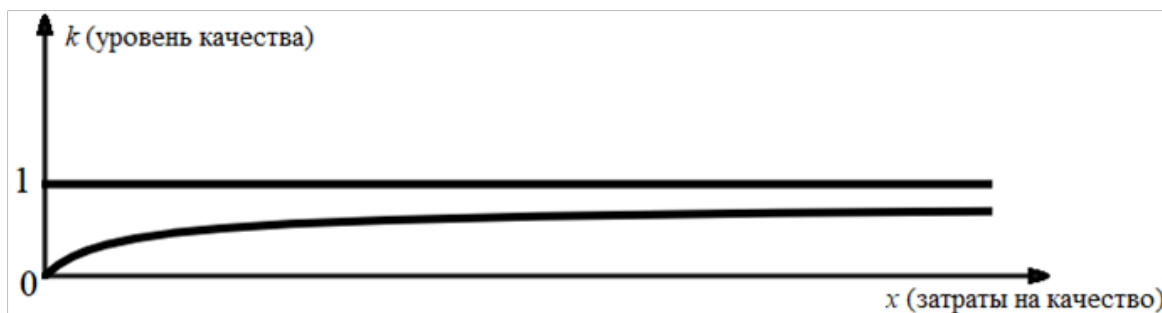


Рис. 1. Графическая иллюстрация зависимости уровня качества от затрат на качество

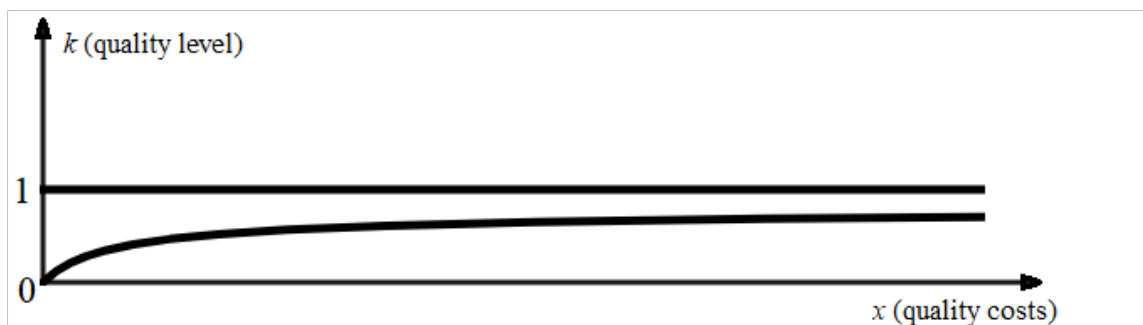


Fig. 1. Graphic illustration of the dependence of the quality level on the cost of quality

Необходимо отметить, что в разрабатываемой модели учитывается, что рост затрат на качество приводит к увеличению рыночного спроса на товар. То есть принимается предположение о прямо пропорциональной связи между уровнем качества сельскохозяйственных товаров и величиной спроса на них. Приведенное допущение соответствует принятым в научных работах взглядам. Так, в статье С. А. Колычева положительная корреляция между уровнем качества и величиной спроса объясняется исходя из теории полезности [15].

Увеличение затрат на качество определяет рост уровня качества сельскохозяйственных товаров, который в модели представляет собой коэффициент, принимающий значение из интервала от нуля до единицы. Ноль означает полностью некачественный товар, в то время как единица подразумевает полное соответствие товара совокупности потребительских характеристик, зафиксированных в стандартах, принятых относительно бенчмарка или определенных иным способом.

По мере повышения затрат на качество все более усложняются процессы, связанные с его обеспечением, поэтому можно предположить, что под влиянием подобного рода факторов рост затрат на качество будет приводить к все меньшему приращению уровня качества товаров. Процессы с затухающей силой влияния в экономических исследованиях традиционно моделируются с помощью логарифмической функции. При этом уровень качества асимптотически приближается к единице, в чем выражается постепенное уменьшение отдачи от все увеличивающихся затрат на качество. В соответствии с приведенными рассуждениями зависимость

уровня качества от затрат на качество может быть представлена следующим образом:

$$k = \frac{\ln(x+1)}{1+\ln(x+1)}, \quad (1)$$

где k – уровень качества сельскохозяйственных товаров, $k \in [0; 1]$;

x – затраты на качество, денежных единиц.

Графически взаимосвязь между уровнем качества и затратами на качество при такой спецификации изображена на рис. 1.

График наглядно показывает, что предприятие может обеспечить некоторый средний уровень качества за счет относительно небольших затрат. Дальнейшее приближение к единице требует все больших затрат, что и ставит вопрос о необходимости поиска баланса между затратами на качество и экономическим эффектом от роста уровня качества товаров.

Совокупность описанных взаимосвязей, формирующих логическую основу модели, можно представить в схематическом виде (рис. 2).

Таким образом, рост затрат на качество способствует повышению его уровня, что, в свою очередь, приводит к увеличению объема продаж. При сложившихся рыночных ценах дополнительные расходы на увеличение качества сельскохозяйственных товаров приведут к росту прибыли от продаж.

Результаты (Results)

Как уже отмечалось выше, при неизменных рыночных ценах рациональный потребитель отдаст предпочтение более качественному товару. Повышение уровня качества приводит к росту спроса на реализуемые товары, что выражается в увеличе-

нии объема продаж на рынке. Как следствие, максимально возможная величина спроса достигается при наиболее высоком уровне качества, равном единице. Тогда разрыв между потенциальным и фактическим объемом продаж определяется исходя из разницы между максимальным (единица) и действительным уровнем качества реализуемых на рынке товаров:

$$\bar{q} - q = \tau(1 - k), \quad (2)$$

где $\bar{q}$ – максимально возможный объем продаж (величина спроса) на данном рынке, натуральных единиц;

q – фактический объем продаж (величина спроса) на данном рынке, натуральных единиц;

k – уровень качества, $k \in [0; 1]$;

τ – коэффициент чувствительности потребителей к уровню качества.

Различные товары характеризуются неодинаковыми потребительскими свойствами, условиями покупки, продолжительностью и спецификой эксплуатации. Потребительское поведение на том или ином товарном рынке также имеет свои особенности в зависимости от широкого спектра факторов. На восприятие качества оказывают влияние наличие товаров-заменителей и динамика цен на них [16]. Потребители будут по-разному реагировать на изменение уровня качества товаров на разных

рынках, что и определяет необходимость введения в модель коэффициента чувствительности спроса к уровню качества.

Величина указанного показателя калибруется в зависимости от изучаемого рынка, его товарных и географических границ. Коэффициент чувствительности к уровню качества на практике может быть определен с помощью маркетинговых исследований, на основе регрессионных уравнений, построенных по данным о продажах и качестве, экспертным методом или иным доступным способом.

При определении оптимального значения затрат на качество предприятие решает задачу по максимизации прибыли от продаж:

$$\pi = (pqt - x) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где π – прибыль от продаж, денежных единиц;

p – рыночная цена, денежных единиц;

q – объем продаж (величина спроса на товары предприятия), натуральных единиц;

t – рентабельность продаж в форме коэффициента, $t \in [0; 1]$;

x – затраты на качество, денежных единиц.

Подставив формулу (1) в уравнение (2) и выражая из него объем продаж (q), формулу прибыли от продаж можно переписать следующим образом с учетом принятых ранее условных обозначений:



Рис. 2. Логическая схема функционирования модели определения затрат на качество

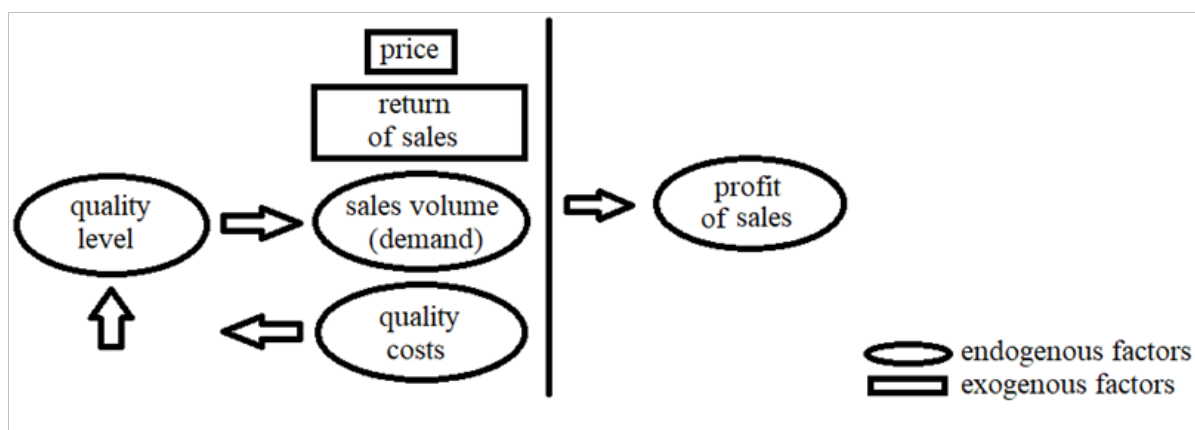


Fig. 2. The logical scheme of functioning of the quality cost determination model

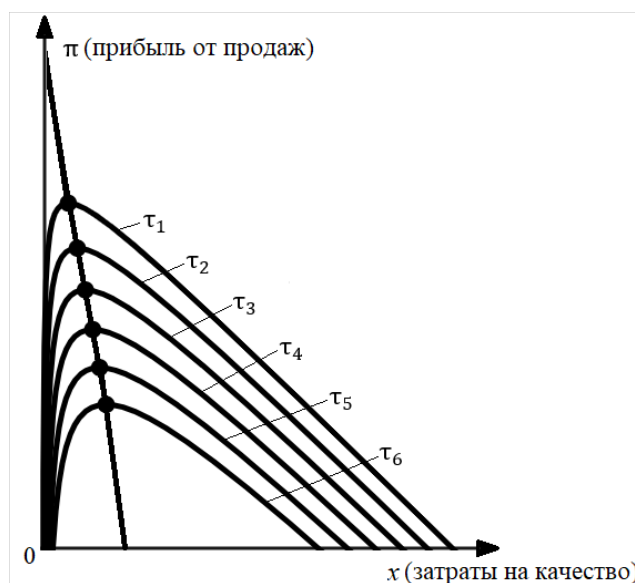


Рис. 3. Прибыль от продаж в зависимости от коэффициента чувствительности к уровню качества

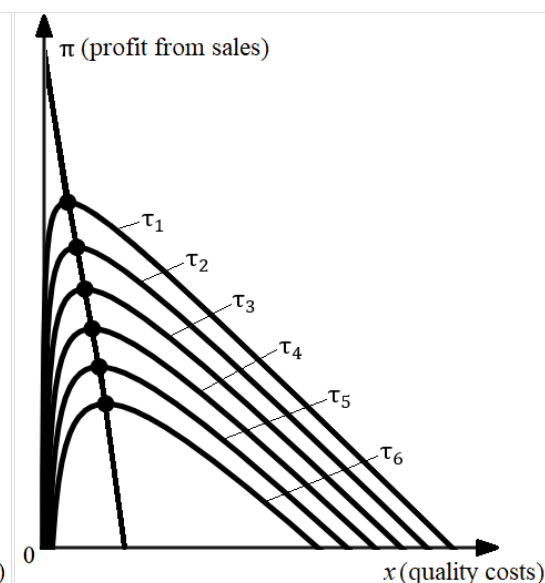


Fig. 3. Profit from sales depending on the sensitivity coefficient to the quality level

$$\pi = (pm\bar{q} - pm\tau) + \left(pm\tau \frac{\ln(x+1)}{1 + \ln(x+1)} - x \right). \quad (4)$$

Выражение в первой скобке представляет собой некоторую константу, величина которой зависит от уровня цен на рынке (p), планируемой рентабельности продаж (m), максимально возможного объема продаж на рынке ($\bar{q}$), а также коэффициента чувствительности к уровню качества (τ). Запись во второй скобке показывает влияние затрат на качество (x) на прибыль от продаж (π) при текущей ценовой конъюнктуре, рентабельности и чувствительности потребителей к качеству приобретаемых товаров.

Графически задача максимизации прибыли от продаж при различных значениях коэффициента чувствительности к уровню качества ($\tau_1 < \tau_2 \dots < \tau_6$) проиллюстрирована на рис. 3.

Максимальное значение прибыли от продаж находится в точке перегиба графика, показанной на рисунке. Оптимальной величине прибыли соответствует некоторое значение затрат на качество. Рисунок наглядно показывает, что по мере увеличения коэффициента чувствительности спроса к уровню качества повышается и величина затрат на качество товаров. Чем более высокие требования к уровню качества товаров предъявляет потребитель, тем больший прирост объема продаж обеспечивает увеличение уровня качества за счет дополнительных затрат на качество.

Множество возможных значений коэффициента чувствительности спроса к уровню качества образует семейство соответствующих ему кривых прибыли от продаж. При этом точки, соответствующие максимальному его значению, лежат на одной прямой, движение по которой и определяется изменением указанного коэффициента.

Смещения графика прибыли от продаж могут происходить и после экзогенного изменения прочих показателей, учитываемых в модели. Под влиянием динамики рыночных цен, а также вследствие пересмотра значения рентабельности продаж при изменении уровня расходов на качество товаров график прибыли от продаж будет растягиваться вдоль горизонтальной оси. Например, на фоне роста цен целесообразно увеличить затраты на качество, так как при благоприятной ценовой конъюнктуре прирост спроса в натуральном выражении обеспечит повышение прибыли от продаж при установленном уровне рентабельности. Впоследствии рост прибыли приведет к получению дополнительных средств, которые можно расходовать на повышение качества товаров. В хозяйственной практике, вероятно, можно ожидать одновременного изменения перечисленных показателей, так как в условиях рыночной неопределенности предприятия вынуждены учитывать постоянные колебания рыночной конъюнктуры.

Для решения задачи максимизации прибыли от продаж в аналитической форме необходимо частную производную функции прибыли по затратам на качество приравнять к нулю:

$$\frac{\partial \pi}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

После нахождения производной задача определения затрат на качество сводится к поиску положительных решений следующего уравнения:

$$\frac{pm\tau}{(x+1)(1+\ln(x+1))^2} - 1 = 0, \quad (6)$$

Уравнение подтверждает рассуждения выше. Рост рыночной цены, рентабельности продаж или коэффициента чувствительности к уровню качества увеличивают величину затрат на качество товаров.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученная модель имеет как преимущества, так и недостатки, вытекающие из особенностей лежащего в ее основе подхода к формированию величины затрат на качество.

В условиях рыночной экономики конечной целью деятельности хозяйствующего субъекта выступает получение максимальной прибыли. И сильная сторона модели заключается в том, что в ней учитываются показатели, непосредственно определяющие прибыль от продаж. В данном случае задача формирования величины затрат на качество решается более комплексно, с учетом целей по финансовым результатам.

Как было показано в результатах исследования, величина максимально возможного объема продаж предприятия на определенном рынке играет важную роль при формировании прибыли от продаж и связанных с ней затрат на качество товаров. При определении оптимального значения величины затрат на качество товаров необходимость учета потенциального объема продаж отпадает на этапе нахождения производной функции прибыли по величине затрат на качество товаров. Описанный аспект также можно отнести к преимуществам применяемого подхода, так как расчет максимально возможного объема продаж на практике является непростой аналитической задачей.

В то же время включение в модель отдельных показателей, характеризующих состояние рынка, влечет за собой некоторые негативные последствия. Изменения рыночной конъюнктуры приводят к смещению точки максимума прибыли от продаж, что диктует необходимость пересмотра величины затрат на качество. Сельскохозяйственный сектор экономики отличается заметной волатильностью рыночных показателей, обусловленной колебаниями величины урожая различных сельскохозяйственных культур, динамикой мировых цен и валютных курсов, вмешательством государства в экономические процессы в сельском хозяйстве и другими факторами. Следовательно, при принятии решения о величине затрат на качество сельскохозяйственных товаров необходимо учитывать не только текущее состояние рынка, но и прогнозы его конъюнктуры, формирование которых требует дополнительных расчетов.

Одной из отличительных характеристик модели является учет коэффициента чувствительности спроса к уровню качества товаров при определении затрат на качество. С одной стороны, необходимость расчета величины данного показателя сопряжена с дополнительными трудностями расчетов. С другой, специфика товарного рынка, на котором

работает хозяйствующий субъект, определяет неодинаковую реакцию потребителей на рост уровня качества на различных рынках. Как результат, включение в модель описанного коэффициента является особенностью и определяет научную новизну модели по определению затрат на качество в рамках предложенного подхода.

Еще одна особенность предложенной модели заключается в математической форме функции, используемой для описания зависимости уровня качества товаров от соответствующих затрат. На практике характер функциональной взаимосвязи между указанными переменными целесообразно уточнить с учетом специфики деятельности предприятия, так как не существует универсальных формул, описывающих связь между затратами на качество и уровнем качества товаров.

По результатам проведенного исследования получена модель определения затрат на качество сельскохозяйственных товаров, обеспечивающая определенную прибыль от продажи при фиксированных условиях конъюнктуры рынка, которая позволяет хозяйствующему субъекту выбрать необходимый уровень качества товаров и сформировать на этой основе социально значимое предложение.

Разработанная модель позволяет сделать следующие выводы, которые необходимо учитывать при управлении качеством сельскохозяйственных товаров:

1. Наилучший уровень качества сельскохозяйственных товаров не обязательно соответствует его максимально возможному значению. Хозяйствующему субъекту необходимо выбирать для своих товаров подходящий уровень качества, который обеспечивает ему получение необходимой прибыли и покрытие всех расходов, включая расходы на качество, формируя в конечном счете высокую социальную значимость продаваемых товаров.

2. При определении величины затрат на качество сельскохозяйственных товаров следует учитывать показатели, характеризующие конъюнктуру конкретного рынка, на котором осуществляется продажа этих товаров. Получение хозяйствующим субъектом необходимой прибыли от продаж будет зависеть от рыночного спроса, который не только чувствителен к уровню качества товаров, учтенного в полученной модели, но также находится под влиянием величины и динамики рыночных цен, объемов товарного предложения и других рыночных факторов, специфичных для определенного рынка.

Перспективы дальнейших исследований по определению необходимого уровня качества сельскохозяйственных товаров связаны с моделированием экономико-математических взаимосвязей между прибылью и затратами на обеспечение качества товаров для различных видов сельскохозяйственных товаров и рынков, имеющих свои особенности.

Библиографический список

1. Бутакова М. М., Соколова О. Н., Горянинская О. А. Качество продовольствия как фактор обеспечения конкурентоспособности продукции АПК на национальном и мировом рынках // Экономика. Профессия. Бизнес. 2021. № 2. С. 5–12. DOI: 10.14258/epb202116.
2. Vujičić S., Lukić M., Mirjana R. M., Kyaruzi I. S., Shajahan K. The role of the quality of agricultural products on the development of agricultural farms // Village and Agriculture: proceedings of the 5th International scientific conference. Bijeljina, 2022. Pp. 282–289.
3. Рябова С. В., Сергеев В. А. Оптимизация структуры затрат на качество на предприятиях радиоэлектронного комплекса // Надежность и качество: труды международного симпозиума. Пенза, 2023. Т. 2. С. 308–312.
4. Рябова С. В. Модели управления затратами на качество на предприятиях радиоэлектронного комплекса // Радиоэлектронная техника: межвузовский сборник научных трудов. Ульяновск, 2022. С. 180–188.
5. Антипов Д. В., Губанова О. Г. Процессный подход в определении модели учета и анализа затрат на качество // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 3. С. 41–52. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-41-52.
6. Лившиц И. И. Оценка затрат на качество на примере экономической модели // Стандарты и качество. 2021. № 6. С. 85–91. DOI: 10.35400/0038-9692-2021-6-85-91.
7. Qian X. D. Optimal decision of agricultural machinery product quality under the regulation of government subsidy policy // African and Asian Studies. 2020. Vol. 19, No. 3. Pp. 218–224. DOI: 10.1163/15692108-12341458.
8. Kokot-Stępień P. The specificity of the functioning of the quality cost account within the quality management system of an enterprise // Production Engineering Archives. 2021. Vol. 27, No. 4. Pp. 283–290. DOI: 10.30657/pea.2021.27.38.
9. Briš P., Čermáková M. Quality cost flows in manufacturing companies // Acta Logistica. 2022. Vol. 09, No. 04. Pp. 449–456. DOI: 10.22306/al.v9i4.345.
10. Teplicka K., Hurna S. New approach of costs of quality according their trend of during long period in industrial enterprises in SMEs // Management Systems in Production Engineering. 2021. Vol. 29, No. 1. Pp. 20–26. DOI: 10.2478/mspe-2021-0003.
11. Martin J., Elg M., Gremyr I., Wallo A. Towards a quality management competence framework: exploring needed competencies in quality management // Total Quality Management & Business Excellence. 2021. Vol. 32, No. 3-4. Pp. 359–378. DOI: 10.1080/14783363.2019.1576516.
12. Kholboyeva S., Qosimov A. Analysis of cost management models to ensure product quality // International Journal of Studies in Business Management, Economics and Strategies. 2024. Vol. 3, No. 8. Pp. 169–175.
13. Pipiya G., Chernenkaya L. Modern methods of searching for the optimal assessment of product quality // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2023. Pp. 94–104. DOI: 10.1007/978-3-031-22311-2_10.
14. Pérez-Fernández L., Sebastián M. A., González-Gaya C. Methodology to optimize quality costs in manufacturing based on multi-criteria analysis and lean strategies // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, No. 7. Article number DOI: 10.3390/app12073295.
15. Колычев С. А. Имитационная модель принятия решений по выбору оптимального уровня качества в условиях неценовой конкуренции между производителями авиационной техники // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2023. Т. 14, № 3. С. 219–227. DOI: 10.18287/2542-0461-2023-14-3-219-227.
16. Гутникова О. Н., Павлуненко Л. Е. Аспекты формирования и развития регионального рынка крупных товаров под влиянием товаров-заменителей. Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2024. Т. 59. № 1. С. 187–202. DOI: 10.55959/MSU0130-0105-6-59-1-9.

Об авторах:

Александр Федорович Никишин, кандидат технических наук, доцент базовой кафедры торговой политики, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-9821-0537, AuthorID 710860. E-mail: ktdn@yandex.ru

Оксана Сергеевна Карашук, кандидат экономических наук, доцент базовой кафедры торговой политики, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-2212-5034, AuthorID 711525. E-mail: kseniak72@mail.ru

Елена Александровна Майорова, кандидат экономических наук, доцент базовой кафедры торговой политики, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-7698-5622, AuthorID 717143. E-mail: e_mayorova@mail.ru

Алексей Ильич Больдясов, член научного коллектива по выполнению гранта Российского научного фонда № 24-28-00657, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-7307-900X, AuthorID 1153093. E-mail: alex.b13@rambler.ru

References

1. Butakova M. M., Sokolova O. N., Goryaninskaya O. A. Food quality as a factor of ensuring the competitiveness of AIC products on the national and world markets. *Economics Profession Business*. 2021; 3: 5–12. DOI: 10.14258/epb202116. (In Russ.)
2. Vujičić S., Lukić M., Mirjana R. M., Kyaruzi I. S., Shajahan K. The role of the quality of agricultural products on the development of agricultural farms. *Village and Agriculture: proceedings of the 5th International scientific conference*. Bijeljina. 2022; Pp. 282–289.
3. Ryabova S. V., Sergeev V. A. Optimization of the structure of quality costs at the enterprise of the radio-electronic complex. *Reliability and Quality: proceedings of the international symposium*. Penza, 2023. Vol. 2. Pp. 308–312. (In Russ.)
4. Ryabova S. V. Quality costs management models of at the enterprises of the radio-electronic complex. *Radio-electronic Technology: an interuniversity collection of scientific papers*. Ulyanovsk, 2022. Pp. 180–188. (In Russ.)
5. Antipov D. V., Gubanova O. G. Process Approach in Determining the Accounting Model and Quality Cost Analysis. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2023. 26 (3): 41–52. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-41-52. (In Russ.)
6. Livshic I. I. Cost of quality assessment: case study of an economic model. *Standards and Quality*. 2021; 6: 85–91. DOI: 10.35400/0038-9692-2021-6-85-91. (In Russ.)
7. Qian X. D. Optimal decision of agricultural machinery product quality under the regulation of government subsidy policy. *African and Asian Studies*. 2020; 19 (3): 218–224. DOI: 10.1163/15692108-12341458.
8. Kokot-Stepień P. The specificity of the functioning of the quality cost account within the quality management system of an enterprise. *Production Engineering Archives*. 2021; 27 (4): 283–290. DOI: 10.30657/pea.2021.27.38.
9. Briš P., Čermáková M. Quality cost flows in manufacturing companies. *Acta Logistica*. 2022; 09 (04): 449–456. DOI: 10.22306/al.v9i4.345.
10. Teplicka K., Hurna S. Newapproach of costs of quality according their trend of during long period in industrial enterprises in SMEs. *Management Systems in Production Engineering*. 2021; 29 (1): 20–26. DOI: 10.2478/mspe-2021-0003.
11. Martin J., Elg M., Gremyr I., Wallo A. Towards a quality management competence framework: exploring needed competencies in quality management. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2021; 32 (3-4): 359–378. DOI: 10.1080/14783363.2019.1576516.
12. Kholboyeva S., Qosimov A. Analysis of cost management models to ensure product quality. *International Journal of Studies in Business Management, Economics and Strategies*. 2024; 3 (8): 169–175.
13. Pipiya G., Chernenkaya L. Modern methods of searching for the optimal assessment of product quality. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023: 94–104. DOI: 10.1007/978-3-031-22311-2_10.
14. Pérez-Fernández L., Sebastián M. A., González-Gaya C. Methodology to optimize quality costs in manufacturing based on multi-criteria analysis and lean strategies. *Applied Sciences*. 2022; 12 (7): 3295. DOI: 10.3390/app12073295.
15. Kolychev S. A. Simulation model of decision-making on the choice of the optimal level of quality in the conditions of non-price competition between aircraft manufacturers. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomikai upravlenie Vestnik of Samara University. Economics and Management*. 2023; 14 (3): 219–227. DOI: 10.18287/2542-0461-2023-14-3-219-227. (In Russ.)
16. Gutnikova O. N., Pavlunenko L. E. Forming and developing the regional market of cereals under the influence of substitutes. *Lomonosov Economics Journal*. 2024; 59 (1): 187–202. DOI: 10.55959/MSU0130-0105-6-59-1-9.

Authors' information:

Aleksandr F. Nikishin, candidate of technical sciences, associate professor of the basic department of trade policy, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-9821-0537, AuthorID 710860. E-mail: ktdn@yandex.ru

Oksana S. Karashchuk, candidate of economic sciences, associate professor of the basic department of trade policy, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-2212-5034, AuthorID 711525. E-mail: kseniak72@mail.ru

Elena A. Mayorova, candidate of economic sciences, associate professor of the basic department of trade policy, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-7698-5622, AuthorID 717143. E-mail: e_mayorova@mail.ru

Aleksey I. Boldyasov, member of the research team for the implementation of the grant of the Russian Science Foundation No. 24-28-00657, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-7307-900X, AuthorID 1153093. E-mail: alex.b13@rambler.ru

Методический подход к оценке потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства в контексте целей устойчивого развития российских регионов

М. С. Оборин^{1, 2, 3✉}, А. Н. Полухина⁴, Д. Л. Напольских⁴

¹Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, Пермь, Россия

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

³Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

⁴Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

✉ E-mail: recreachin@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования – разработать основные положения методического подхода к оценке потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства в российских регионах и анализу пространственной структуры агропромышленных кластеров. **Методы.** В ходе исследования применялись следующие общенаучные методы: сравнительный и системный анализ, районирование и картография. Для проведения расчетов использовались методы экономико-статистического анализа. **Научная новизна** исследования заключается в возможности дифференциации территорий российских регионов с точки зрения кластерной политики развития сельского хозяйства, что позволяет выделить как центры кластеризации отрасли, так и те сельские территории, которые в наибольшей степени нуждаются в механизмах кластерной поддержки. **Результаты.** Определены роль и ключевые принципы кластеризации и инновационного развития сельскохозяйственного производства в обеспечении устойчивого развития регионов. Предлагается рассмотрение пространственной структуры агропромышленных кластеров в рамках административных границ муниципальных образований. Выделены базовые показатели для оценки потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства на уровне муниципальных образований: количество сельскохозяйственных организаций в муниципальном образовании, удельный вес муниципального образования в общем количестве сельскохозяйственных организаций в регионе, удельный вес муниципального образования в общем объеме сельскохозяйственного производства региона. Предлагается модель формирования мультиотраслевых кластеров (мультикластеров) сельского хозяйства, также интегрирующих предприятия и организации в сфере лесоводства и лесозаготовки, рыболовства и рыбоводства. В ходе исследования аграрного сектора Пермского края выделено четыре центра кластеризации: Пермский городской округ, а также Пермский и Кунгурский районы; Чайковский городской округ; Карагайский район; Соликамский район. В Удмуртской Республике выявлено два центра кластеризации сельскохозяйственного производства: Ижевский городской округ и Завьяловский муниципальный район; Глазовский муниципальный район.

Ключевые слова: агропромышленные кластеры, кластеризация сельского хозяйства, Пермский край, Удмуртская Республика, устойчивое развитие регионов, развитие сельских территорий

Для цитирования: Оборин М. С., Полухина А. Н., Напольских Д. Л. Методический подход к оценке потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства в контексте целей устойчивого развития российских регионов // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 973–990. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-973-990>.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-78-10042 «Методология многоуровневой интеграции экономического пространства и синхронизации инновационных процессов как основа устойчивого развития российских регионов (на основе концепции инновационного гиперкластера)», <https://rscf.ru/project/23-78-10042/>

Дата поступления статьи: 18.02.2025, **дата рецензирования:** 07.03.2025, **дата принятия:** 04.04.2025.

Methodological approach to assessing the potential for agricultural production clustering in the context of sustainable development goals in Russian regions

M. S. Oborin^{1, 2, 3✉}, A. N. Polukhina⁴, D. L. Napolskikh⁴

¹ Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm, Russia

² Perm State National Research University, Perm, Russia

³ Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

⁴ Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

✉ E-mail: recreachin@rambler.ru

Abstract. The purpose of this study is to develop the main principles of a methodological approach for assessing the potential of clustering agricultural production in Russian regions and analyzing the spatial structure of agricultural clusters. **Methods.** In this study, we used general scientific methods such as comparative and systematic analysis, zoning, and cartography. We also used methods of economic and statistical analysis to carry out calculations. **Scientific novelty.** The novelty of this research lies in the ability to differentiate Russian regions in terms of cluster policy for agricultural development, which allows us to identify rural areas that require cluster support mechanisms as centers for industry clustering. **Results.** We have defined the role and key principles of clustering and innovative development in agricultural production for sustainable regional development. It is proposed to examine the spatial structure of agro-industrial clusters within the administrative boundaries of municipalities. The main indicators for assessing the potential for clustering agricultural production at the municipal level have been identified: the number of agricultural organizations in a municipality, the proportion of the municipality's share in the total number of agricultural organizations in the region, and the proportion of municipal agricultural production in the overall agricultural production of the region. A model for forming multi-industry clusters of agriculture, including enterprises and organizations in forestry, logging, fishing, and fish farming, is proposed. During the study of the agricultural sector in the Perm Krai, four clustering centers were identified: Perm district, as well as Perm and Kungur districts; Chaykovskiy district; Karagay district; Solikamsk district. Two clusters of agricultural production have been identified in the Udmurt Republic: Izhevsk district and the Zavyalovo district; Glazov district.

Keywords: agro-industrial clusters, agricultural clusterization, Perm Krai, Udmurt Republic, sustainable development of regions, rural development

Acknowledgements. The research is supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-78-10042 "Methodology of multilevel integration of economic space and synchronization of innovation processes as a basis for sustainable development of Russian regions (based on the concept of innovative hypercluster)", <https://rscf.ru/project/23-78-10042/>

For citation: Oborin M. S., Polukhina A. N., Napolskikh D. L. Methodological approach to assessing the potential for agricultural production clustering in the context of sustainable development goals in Russian regions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 973–990. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-973-990>. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.02.2025, **date of review:** 07.03.2025, **date of acceptance:** 04.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Выполняя свои ключевые функции, включающие производство пищевых продуктов и сырья для различных обрабатывающих секторов промышленности, аграрный сектор оказывает существенное влияние на экологическое благополучие и устойчивость развития территорий [1]. На сегодняшний день одной из актуальных научно-практических задач является разработка устойчивых моделей развития сельского и лесного хозяйства, гарантирую-

щих сбалансированное удовлетворение потребностей нынешнего и последующих поколений [2].

Государственная программа «Комплексное развитие сельских территорий» нацелена на сохранение сельского населения и улучшение качества жизни сельских жителей, а также на повышение продуктивности традиционных форм сельского хозяйства и развитие современных форм социально-экономического развития в сельской местности [3].

Региональные органы государственной власти и органы местного самоуправления Российской Федерации также обладают достаточными полномочиями и возможностями для разработки, внедрения и оперативного пересмотра мер по поддержке процессов кластеризации сельскохозяйственного производства.

Для повышения точности и результативности государственной поддержки кластерных инициатив в аграрном секторе необходимо комплексно учитывать факторы, влияющие на потенциал кластеризации сельскохозяйственного производства. Соответственно, цель данного исследования заключается в разработке методов оценки потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства как фактора повышения устойчивости развития сельских территорий российских регионов.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве пространственной единицы анализа кластеризации сельскохозяйственного производства в российских регионах используются следующие виды муниципальных образований: муниципальные районы и административно не входящие в их состав городские округа, а также муниципальные округа. Городские округа в рамках оценки потенциала кластеризации могут рассматриваться совместно с муниципальными районами, которые их окружают.

Для формирования полноценно функционирующих на основе рыночных механизмов и не нуждающихся в постоянной государственной поддержке кластеров на определенной территории в рамках региона (например, на территории нескольких муниципальных районов) должна быть сконцентрирована определенная «критическая масса» предприятий, относящихся к аграрному и смежным с ним секторам экономики. Наиболее крупные и/или инновационно активные предприятия в рамках диалектического перехода от количественного к качественному могут выступать в качестве субъектов кластерной инициативы и ядра процессов саморегулирования кластера. При этом изначальный межотраслевой характер кластерной инициативы рассматривается нами как благоприятный фактор для набора «критической массы» самостоятельного кластерного развития за счет предприятий и организаций смежных отраслей.

В рамках предыдущих исследований Д. Л. Напольских были проанализированы кластеры первой масштабной волны кластеризации, реализованной Правительством РФ в 2010-х годах [4]. Сформированные на данном этапе развития российской экономики кластеры получили широкую поддержку со стороны государственных программ и входили в «Перечень пилотных программ развития инновационных территориальных кластеров» Министерства экономического развития РФ либо «Перечень про-

мышленных кластеров» Министерства промышленности и торговли РФ. Количество организаций в составе получивших поддержку кластеров в среднем составляет от 20 (лесопромышленные кластеры) до 96 организаций (таблица 1).

Минимальное число организаций для большинства выделенных типов кластеров равняется 10, максимальное число организаций в составе кластеров варьируется от 31–40 (лесопромышленные и агробιοтехнологические кластеры) до 213 (кластеры автомобилестроения). Такое низкое минимальное число организаций кластера (10) было обусловлено существенными механизмами государственной поддержки и пилотным характером данных кластеров. В современных условиях расширение процессов кластеризации на основе рыночных механизмов требует значительного увеличения минимального количества организаций-участников, особенно если большинство из них относится к малому бизнесу.

Выявленные выше особенности кластеризации лесного и сельского хозяйства повлияли на методологию исследования следующим образом.

1. Кластеризации сельскохозяйственного производства в российских регионах рассматривается достаточно широко и включает в себя интеграцию организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству (отрицательная динамика количества данных организаций представлена на рис. 1). Данный подход также играет ключевую роль для устойчивого развития территории российских регионов, так как сельские и лесные территории совместно с водными объектами формируют взаимосвязанные экосистемы.

2. Минимальное количество организаций на территории одного муниципального образования (а не субъекта РФ) для включения его в потенциальные территории кластера составляет 10 единиц.

3. Вторым важным фактором отнесения территории одного муниципального образования является концентрация на его территории сельскохозяйственного производства, выражаемая в объеме производимой продукции. Минимальная доля выручки организаций муниципального образования в общей выручке сельхозпредприятий региона для включения его в потенциальные территории кластера составляет 5 %.

В Г. Басарева и Т. М. Рябухина систематизировали концептуальные основы улучшения инвестиционной привлекательности и инновационного развития сельского хозяйства на уровне российских муниципальных образований. В основе теоретико-методологического подхода этих авторов лежат положения экономики знаний, согласно которым основу формирования новых технологий составляют каналы обмена знаниями, механизмы финансирования научных исследований и защиты результатов интеллектуального труда [6].

Таблица 1

Количество организаций-участников в кластерах «первой волны»

Отраслевые и типы кластеров	Показатели развития кластеров			
	Количество функционирующих кластеров	Среднее число организаций-участников	Минимальное число организаций-участников	Максимальное число организаций-участников
Кластеры микроэлектроники, приборостроения и ИТ	19	31,4	10	70
Кластеры медицинских и фармацевтических технологий	16	27,5	10	55
Машиностроительные кластеры	11	22,4	10	53
Авиастроительные кластеры	5	28,4	13	77
Кластеры автомобилестроения	4	96	33	213
Лесопромышленные кластеры	6	20	11	31
Агробиотехнологические кластеры	7	20,7	10	40

Источник: рассчитано авторами по данным [5].

Table 1

The number of participating organizations in the “first wave” clusters [5]

Industry and types of clusters	Indicators of Cluster Development			
	Number of operating clusters	Average number of participating organizations	Minimum number of participating organizations	Maximum number of participating organizations
Clusters of microelectronics, instrument engineering, IT	19	31.4	10	70
Clusters of medical and pharmaceutical technologies	16	27.5	10	55
Machine engineering clusters	11	22.4	10	53
Aerospace clusters	5	28.4	13	77
Automotive clusters	4	96	33	213
Forest industry clusters	6	20	11	31
Agrobiotechnology clusters	7	20.7	10	40

Source: calculated by the authors according to [5].

Использование муниципальных районов нашло достаточно широкое применение в исследованиях процессов кластеризации аграрного сектора различных регионов России. В работе Э. А. Калафатова и Д. Д. Буркальцева представлена кластеризация территорий Республики Крым с точки зрения развития сельского хозяйства региона, кластеры рассматриваются в пределах муниципальных районов и городских округов [7]. И. В. Палаткин, А. Ю. Павлов и А. А. Кудрявцев предложили систему индикаторов, оценивающих потенциал сельскохозяйственного производства Пензенской области в административных границах муниципальных районов. На территории региона выделены шесть кластеров, отличающихся сочетаниями значений рассматриваемых факторов на территории входящих в них муниципальных районов [8].

Также данный подход согласуется с применяемой Европейской кластерной обсерваторией многоуровневой номенклатурой территориальных статистических единиц NUTS (от фр. Nomenclature des Unites Territoriales Statistiques). В рамках системы NUTS выделяются локальные административные единицы LAU (от англ. Local Administrative Unit), сопоставимые с муниципальными округами и районами на территории Российской Федерации.

С. Н. Семеновым разработана теория социоприродно-экономического пространства, в рамках которой обоснована идея сельскохозяйственной интеграции как фактора территориального развития. Автором доказана необходимость разработки и практического внедрения кластерной модели многофункциональной агропромышленной интеграции. Кластеризация сельскохозяйственного производства рассматривается как фактор устойчивого развития сельских территорий регионов РФ [9].

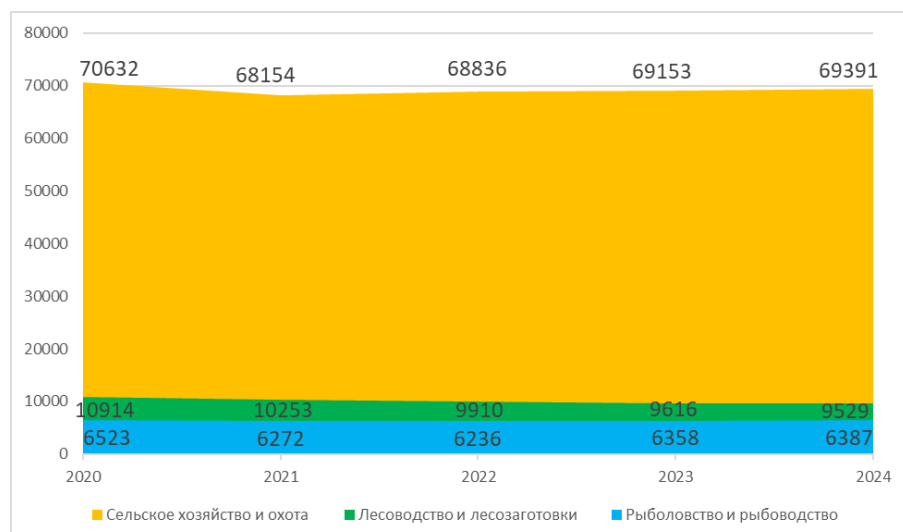


Рис. 1. Динамика количества организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в российских регионах в 2020–2024 годах (построено на основе данных Росстата)

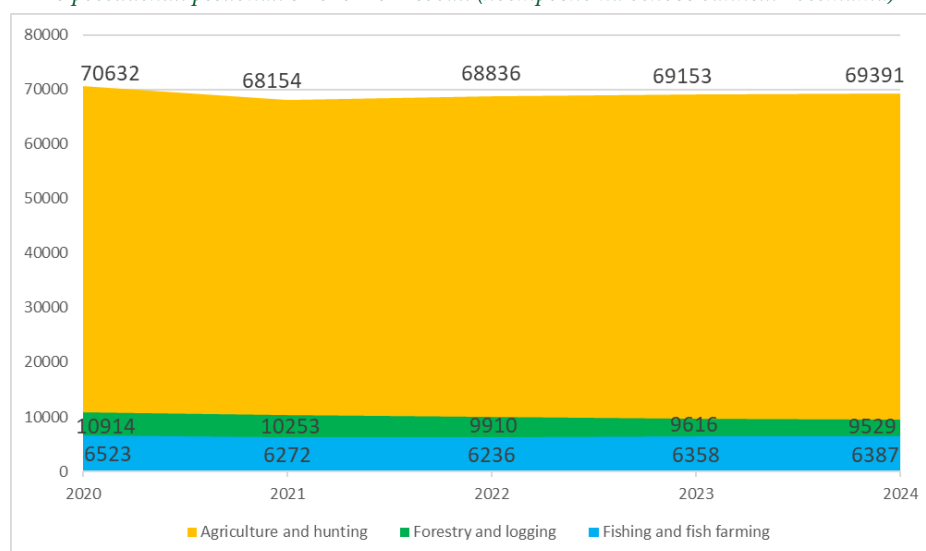


Fig. 1. The dynamics of the number of organizations related to agriculture, forestry, and fisheries in Russian regions in 2020–2024 (based on Rosstat data)

П. В. Локтионовым исследованы перспективы преобразования современного аграрного сектора российской экономики в межрегиональную сеть взаимосвязанных кластеров [10].

А. А. Юдин и Т. В. Тарабукина считают кластеризацию сельского хозяйства ключевым фактором инновационного развития и обеспечения продовольственной безопасности российских регионов [11].

А. К. Дзампаев определяет агрокластеры как территориально локализованные, инновационно ориентированные интегрированные экономические системы, функционирующие на основании соглашений о сотрудничестве между независимыми экономическими субъектами [12].

Л. В. Михайлова предлагает кластерный подход к развитию малого аграрного бизнеса, в категорию субъектов малого аграрного бизнеса включены сельскохозяйственные предприятия различных организационно-правовых форм, а также сельскохо-

зяйственные потребительские кооперативы, крестьянские (фермерские) хозяйства и личные подсобные хозяйства [13].

В зарубежных странах агрокластеры также объединяют территориально сосредоточенные и взаимодействующие друг с другом производственные предприятия, государственные организации и учреждения, научные и образовательные учреждения [14]. Э. Казарян и И. Алексанян провели исследование устойчивости агропромышленного комплекса в странах Евразийского экономического союза за период с 2015 по 2022 годы: средняя добавленная стоимость сельского хозяйства составляла 8,2 % от ВВП, а средний индекс производства продуктов питания достиг отметки 104,1. Также выявлен существенный уровень корреляции между показателями объема сельскохозяйственного производства, инвестиций в аграрный сектор и инновационной активности [15].

Результаты (Results)

В рамках целей устойчивого развития задачи сохранения природных богатств и биологического разнообразия флоры и фауны, а также поддержание агроэкологических ландшафтов становятся значимой частью кластерной политики регионального развития. Кластеризация сельского хозяйства должна основываться на следующих ключевых принципах: сохранение и поддержание всех экосистем и живых существ, участвующих в производственном процессе; соответствие природным системам и циклам, а также локальным производственным и культурным особенностям [16]. Роль кластеризации и инновационного развития сельскохозяйственного производства в обеспечении устойчивого развития всей территории региона представлена на рис. 2.

Согласно А. Л. Носову, кластеризация сельскохозяйственного производства служит формой укрепления межорганизационных и межотраслевых связей, а также привносит элементы модернизации в сельские территории российских регионов [17]. На сегодняшний день сложность проблем простран-

ственного и технологического развития российского аграрного комплекса усугубляется масштабами территории страны и отдельных регионов, многообразием природно-климатических условий. Применяемые модели развития сельского хозяйства в российских регионах должны соответствовать стоящим перед ними вызовам, которые варьируются в зависимости от особенностей территориальных воспроизводственных и отраслевых соотношений [18].

В современном аграрном секторе России отмечается тенденция к формированию кластеров, представляющих собой совокупность территориально сконцентрированных взаимосвязанных сельскохозяйственных предприятий и организаций. Кластер представляет собой сложную сетевую структуру, также включающую государственные и муниципальные органы власти и институты развития. Интеграция в рамках кластера университетов и малых инновационных предприятий (МИП) позволяет развивать процессы генерации и коммерциализации современных агропромышленных технологий [19].



Рис. 2. Роль кластеризации и инновационного развития сельскохозяйственного производства в обеспечении устойчивого развития (составлено на основе [17; 18])

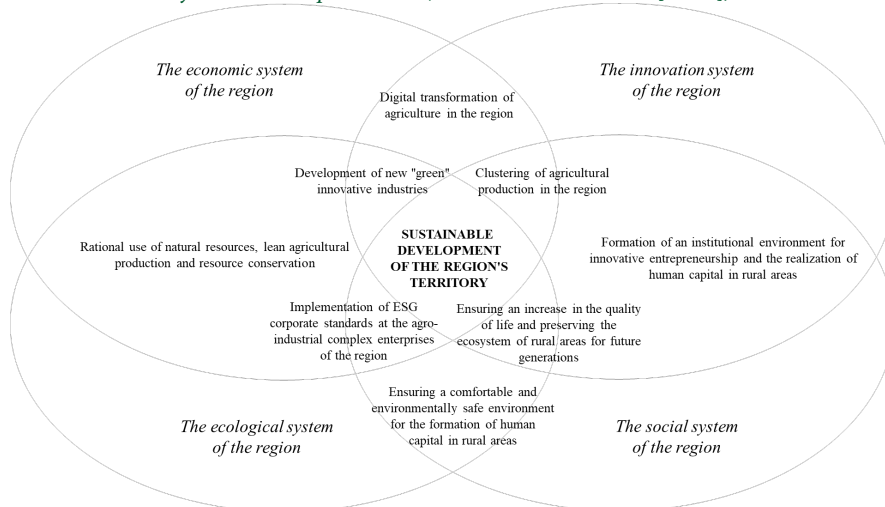


Fig. 2. The role of clusterization and innovative development of agricultural production in ensuring sustainable development (compiled on the basis of [17; 18])

Таблица 2

Количество организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в Пермском крае и Удмуртской Республике в 2023 году (в сравнении другими регионами ПФО и регионами-лидерами в РФ)

Место региона	Регион	Количество организаций в регионе	Доля региона в общем количестве организаций, %
1	Московская область (ЦФО)	4 162	4,89
2	Краснодарский край (ЮФО)	3 399	3,99
3	Республика Дагестан (СКФО)	3 148	3,70
4	Республика Башкортостан (ПФО)	2 240	2,63
5	Москва (ЦФО)	2 165	2,54
6	Ростовская область (ЮФО)	2 153	2,53
7	Свердловская область (УрФО)	2 033	2,39
8	Красноярский край (СФО)	1 902	2,23
9	Приморский край (ДФО)	1 882	2,21
10	Тюменская область (УрФО)	1 847	2,17
12	Республика Татарстан (ПФО)	1 597	1,88
17	Самарская область (ПФО)	1 424	1,67
19	Нижегородская область (ПФО)	1 333	1,57
22	Оренбургская область (ПФО)	1 290	1,52
25	Саратовская область (ПФО)	1 230	1,44
27	Пермский край (ПФО)	1 201	1,41
30	Кировская область (ПФО)	1 081	1,27
51	Пензенская область (ПФО)	658	0,77
55	Удмуртская Республика (ПФО)	652	0,77
61	Ульяновская область (ПФО)	627	0,74
64	Чувашская Республика (ПФО)	550	0,65
73	Республика Мордовия (ПФО)	407	0,48
75	Республика Марий Эл (ПФО)	372	0,44

Источник: составлено авторами по данным Росстата.

Table 2

The number of organizations related to agriculture, forestry, and fisheries in Perm region and the Udmurt Republic in 2023 (compared to other regions of the Volga Federal District and leading regions in Russia)

Region's position	Region	Number of organizations in the region	Share of the region in the total number of organizations, %
1	Moscow region (CFD)	4 162	4.89
2	Krasnodar region (SFD)	3 399	3.99
3	Republic of Dagestan (NCFD)	3 148	3.70
4	Republic of Bashkortostan (VFD)	2 240	2.63
5	Moscow City (CFD)	2 165	2.54
6	Rostov region (SFD)	2 153	2.53
7	Sverdlovsk region (UFD)	2 033	2.39
8	Krasnoyarsk region (SFD)	1 902	2.23
9	Primorsky Krai (FEFD)	1 882	2.21
10	Tyumen region (UFD)	1 847	2.17
12	Republic of Tatarstan (VFD)	1 597	1.88
17	Samara region (VFD)	1 424	1.67
19	Nizhny Novgorod region (VFD)	1 333	1.57
22	Orenburg region (VFD)	1 290	1.52
25	Saratov region (VFD)	1 230	1.44
27	Perm Krai (VFD)	1 201	1.41
30	Kirov region (VFD)	1 081	1.27
51	Penza region (VFD)	658	0.77
55	Udmurt Republic (VFD)	652	0.77
61	Ulyanovsk region (VFD)	627	0.74
64	Chuvash Republic (VFD)	550	0.65
73	Republic of Mordovia (VFD)	407	0.48
75	Republic of Mari El (VFD)	372	0.44

Source: compiled by the authors according to Rosstat data.

В рамках исследования также были проанализированы процессы кластеризации экономического пространства Пермского края и Удмуртской Республики. Рассмотренные регионы Прикамья играют значительную роль в рамках интеграции экономического пространства Урала и Поволжья. Количество организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в данных регионах представлено в таблице 2.

Прикамье, несмотря на более северное положение относительно регионов-лидеров, играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны, занимая уверенные позиции с точки зрения объемов производства сельскохозяйственной продукции. Выручка организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в данных регионах представлена в таблице 3.

В ходе исследования выявлена отрицательная динамика количества организаций в сфере сельского, лесного и рыбного хозяйства. Количество организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в Пермском крае и Удмуртской Республике за 2020–2024 годы представлено в таблице 4.

По мнению авторов, представляется целесообразным формирование в указанных регионах мультиотраслевых кластеров (мультикластеров) сельского хозяйства, также интегрирующих предприятия и организации в сфере лесоводства и лесозаготовки, рыболовства и рыбоводства. Это обусловлено тем, что в большинстве регионов нет достаточного количества предприятий лесной и рыбной отрасли для самостоятельного формирования полноценных кластеров, специализирующихся исключительно на данных видах экономической деятельности.

Агропромышленный комплекс Пермского края играет важную роль в экономике региона: по результатам 2022 года он произвел продукцию на сумму 67,4 млрд рублей (увеличение на 4,4 %). Именно в этот период был собран самый высокий за последнее десятилетие урожай зерновых и бобовых культур – 443,5 тысячи тонн [19]. К ведущим предприятиям сельского хозяйства Пермского края, участвовавшим в процессах интеграции сельскохозяйственной отрасли, относятся агрохолдинг «Ашатли», Пермский мясокомбинат, ООО «Молкомбинат Кунгурский», мясокомбинат «Кунгурский», мясоперерабатывающий завод «Телец» и другие.

Показатели, характеризующие потенциал кластеризации сельского хозяйства муниципальных образований Пермского края, рассмотрены в таблице 5.

Ядром кластеризации сельского хозяйства Пермского края являются городской округ Пермь, Пермский и Кунгурский районы, к основным территориям кластерного развития относятся город-

ские округа Добрянка, Чайковский, Чусовой и Карагайский муниципальный район (рис. 3).

К предприятиям аграрного сектора Удмуртии, оказавшим влияние на развитие сельских территорий республики, относятся птицефабрика «Вараксино», агрохолдинг «Комос Групп», холдинг АО «Русевроплант», СПК «Родина», СПОК «Агроресурс», Сарапульская птицефабрика, ООО «Можгасыр», ООО «Играмолоко», ООО «Шарканский льнозавод» и др. Показатели, характеризующие потенциал кластеризации сельского хозяйства муниципальных образований Республики Удмуртия, рассмотрены в таблице 6.

Ядрами кластеризации сельского хозяйства Республики Удмуртия являются городской округ Ижевск и Завьяловский муниципальный район, к ключевым территориям кластерного развития также относится Глазовский муниципальный район вместе с г. Глазов (рис. 4).

Таким образом, Пермский край и Республика Удмуртия обладают высоким потенциалом кластерного развития агропромышленного комплекса с выраженным производственным ядром. Данные процессы будут сопровождаться отраслевой диверсификацией при соответствующей институциональной поддержке (рис. 5).

Основным ядром мультикластера сельского хозяйства являются крупные предприятия, формирующие основной вклад в ВВП отрасли региона и специализацию. Субъекты малого и среднего предпринимательства аналогичной специализации способствуют развитию уникальных характеристик продукции, приданию ей местного колорита и особенностей, связанных с региональными продуктами брендами. Ядра подкластеров 1, 3 и 4 представляют связанные специализации, управление которыми должно осуществляться на основе баланса экономических, экологических и социальных интересов на принципах ресурсосбережения и внедрения «зеленых» технологий. Органы управления сельским хозяйством и агропромышленным комплексом субъектов РФ обеспечивают взаимосвязь стратегических ориентиров и показателей развития мультикластера, использующих природно-ресурсный и территориальный потенциал. Рост объемов производства и диверсификация продукции закономерно способствуют развитию складской, рыночной, транспортно-логистической инфраструктуры. Происходит расширение присутствия ведущих предприятий отрасли на рынках сбыта и потребления. Боковые стрелки, связывающие ядро мультикластера и подкластеры, являются кластерно-сетевыми связями, имеющими прямой и обратный характер, выраженность и интенсивность которых обусловлена особенностями сотрудничества и координатации субъектов.

Таблица 3

Выручка организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в регионах, в Пермском крае и Удмуртской Республике в 2023 году (в сравнении другими регионами ПФО и регионами-лидерами в РФ)

Место региона по общей выручке организаций	Регион	Средняя выручка организаций региона, млн рублей	Общая выручка организаций региона, млн рублей	Доля региона в общей выручке по России, %
1	Белгородская область (ЦФО)	547,42	476 800,62	7,03
2	Краснодарский край (ЮФО)	131,48	446 893,58	6,59
3	Воронежская область (ЦФО)	251,3	271 403,39	4,00
4	Курская область (ЦФО)	416,25	271 393,74	4,00
5	Липецкая область (ЦФО)	396,42	259 261,41	3,82
6	Ставропольский край (СКФО)	175,87	244 107,47	3,60
7	Ростовская область (ЮФО)	106,36	228 999,65	3,38
8	Камчатский край (ДФО)	277,55	223 150,45	3,29
9	Тамбовская область (ЦФО)	263,6	211 147,25	3,11
10	Приморский край (ДФО)	98,47	185 329,51	2,73
11	Республика Татарстан (ПФО)	98,94	158 003,80	2,33
17	Пензенская область (ПФО)	170,29	112 047,58	1,65
18	Республика Мордовия (ПФО)	267,55	108 894,80	1,61
21	Саратовская область (ПФО)	81,78	100 593,36	1,48
24	Республика Башкортостан (ПФО)	43,02	96 371,86	1,42
32	Нижегородская область (ПФО)	58,63	78 150,56	1,15
36	Самарская область (ПФО)	50,36	71 707,59	1,06
38	Оренбургская область (ПФО)	49,56	63 933,88	0,94
40	Удмуртская Республика (ПФО)	89,45	58 319,03	0,86
41	Кировская область (ПФО)	52,58	56 839,35	0,84
43	Республика Марий Эл (ПФО)	147,82	54 987,62	0,81
49	Пермский край (ПФО)	38,32	46 025,88	0,68
54	Ульяновская область (ПФО)	54,41	34 117,42	0,50
57	Чувашская Республика (ПФО)	44,32	24 376,43	0,36

Источник: составлено авторами по данным Росстата.

Table 3

Revenue of organizations related to agriculture, forestry, and fisheries in the regions, specifically in Perm region and the Udmurt Republic in 2023 (in comparison with other regions of the Volga Federal District and leading regions in Russia)

The region's place in total revenue of organizations	Region	Average revenue of organizations in the region, million rubles	Total revenue of organizations in the region, million rubles	The region's share of total revenue in Russia, %
1	Belgorod region (CFD)	547.42	476 800.62	7.03
2	Krasnodar region (SFD)	131.48	446 893.58	6.59
3	Voronezh region (CFD)	251.3	271 403.39	4.00
4	Kursk region (CFD)	416.25	271 393.74	4.00
5	Lipetsk region (CFD)	396.42	259 261.41	3.82
6	Stavropol region (NCFD)	175.87	244 107.47	3.60
7	Rostov region (SFD)	106.36	228 999.65	3.38
8	Kamchatka region (FEFD)	277.55	223 150.45	3.29
9	Tambov region (CFD)	263.6	211 147.25	3.11
10	Primorsky Krai (FEFD)	98.47	185 329.51	2.73
11	Republic of Tatarstan (VFD)	98.94	158 003.80	2.33
17	Penza region (VFD)	170.29	112 047.58	1.65
18	Republic of Mordovia (VFD)	267.55	108 894.80	1.61
21	Saratov region (VFD)	81.78	100 593.36	1.48
24	Republic of Bashkortostan (VFD)	43.02	96 371.86	1.42
32	Nizhny Novgorod region (VFD)	58.63	78 150.56	1.15
36	Samara region (VFD)	50.36	71 707.59	1.06
38	Orenburg region (VFD)	49.56	63 933.88	0.94
40	Udmurt Republic (VFD)	89.45	58 319.03	0.86
41	Kirov region (VFD)	52.58	56 839.35	0.84
43	Republic of Mari El (VFD)	147.82	54 987.62	0.81
49	Perm Krai (VFD)	38.32	46 025.88	0.68
54	Ulyanovsk region (VFD)	54.41	34 117.42	0.50
57	Chuvash Republic (VFD)	44.32	24 376.43	0.36

Source: compiled by the authors according to Rosstat data.

Таблица 4

Динамика количества организаций, относящихся к сельскому, лесному и рыбному хозяйству, в Пермском крае и Удмуртской Республике

Вид деятельности	2020	2021	2022	2023	2024
Удмуртская Республика					
Сельское хозяйство и охота	592	559	550	545	544
Лесоводство и лесозаготовки	100	89	86	87	84
Рыболовство и рыбоводство	19	20	19	20	18
Пермский край					
Сельское хозяйство и охота	989	936	925	914	914
Лесоводство и лесозаготовки	343	297	283	268	263
Рыболовство и рыбоводство	23	21	21	19	19

Источник: составлено авторами по данным Росстата.

Table 4

Dynamics of the number of organizations related to agriculture, forestry, and fisheries in Perm region and Udmurt Republic

Type of activity	2020	2021	2022	2023	2024
Udmurt Republic					
Agriculture and hunting	592	559	550	545	544
Forestry and timber harvesting	100	89	86	87	84
Fishing and fish farming	19	20	19	20	18
Perm Krai					
Agriculture and hunting	989	936	925	914	914
Forestry and timber harvesting	343	297	283	268	263
Fishing and fish farming	23	21	21	19	19

Source: compiled by the authors according to Rosstat data.

Таблица 5

Потенциал кластеризации сельского хозяйства муниципальных образований Пермского края

Муниципальное образование (МО)	Количество организаций в МО	Доля организаций МО в общем количестве в регионе, %	Доля МО в общей выручке региона, %
г. Пермь	392	32,64	6,42
Пермский район	108	8,99	17,48
г. Добрянка	76	6,33	0,14
Кунгурский район	35	2,91	15,37
г. Чайковский	33	2,75	5,21
г. Краснокамск	29	2,41	3,94
г. Соликамск	27	2,25	0,49
Куединский район	26	2,16	2,19
Чернушинский район	26	2,16	0,82
г. Березники	23	1,92	0,27
Нытвенский район	22	1,83	3,31
Верещагинский район	20	1,67	2,67
г. Лысьва	20	1,67	0,11
Карагайский район	20	1,67	6,58
Красновишерский район	20	1,67	0,71
Оханский район	20	1,67	1,04
Большесосновский район	18	1,50	1,49
Бардымский район	17	1,42	0,17
г. Чусовой	16	1,33	8,96
Сивинский район	16	1,33	4,90
Кудымкарский район	15	1,25	1,53
Горнозаводский район	14	1,17	1,93
Соликамский район	14	1,17	0,31
Березовский район	13	1,08	2,12
г. Кунгур	12	1,00	0,34

Октябрьский район	12	1,00	0,59
Ординский район	12	1,00	1,30
Осинский район	12	1,00	0,33
Суксунский район	12	1,00	0,88
Усольский район	11	0,92	0,06
Частинский район	11	0,92	2,03
Юсьвинский район	11	0,92	1,46
Кишертский район	10	0,83	0,68
Юрлинский район	10	0,83	0,39
Очерский район	9	0,75	1,00
Еловский район	8	0,67	0,27
Ильинский район	8	0,67	0,08
Чердынский район	8	0,67	0,14
Кочевский район	7	0,58	0,85
г. Александровск	6	0,50	0,21
г. Гремячинск	6	0,50	0,33
г. Кудымкар	5	0,42	0,02
Гайнский район	5	0,42	0,90
Уинский район	3	0,25	0,01
г. Кизел	2	0,17	0,01
г. Губаха	1	0,08	0,01

Источник: рассчитано авторами.

Table 5
The potential for clustering agriculture within the municipal entities of Perm region

<i>Municipal entity (ME)</i>	<i>Number of organizations in the ME</i>	<i>Share of organizations in the ME relative to the total number in the region</i>	<i>Share of the ME in the total revenue of the region</i>
<i>City of Perm</i>	392	32.64	6.42
<i>Perm district</i>	108	8.99	17.48
<i>City of Dobryanka</i>	76	6.33	0.14
<i>Kungur district</i>	35	2.91	15.37
<i>City of Chaykovskiy</i>	33	2.75	5.21
<i>City of Krasnokamsk</i>	29	2.41	3.94
<i>City of Solikamsk</i>	27	2.25	0.49
<i>Kueda district</i>	26	2.16	2.19
<i>Chernushka district</i>	26	2.16	0.82
<i>City of Berezniki</i>	23	1.92	0.27
<i>Nytva district</i>	22	1.83	3.31
<i>Vereshchagino district</i>	20	1.67	2.67
<i>City of Lysva</i>	20	1.67	0.11
<i>Karagay district</i>	20	1.67	6.58
<i>Krasnovishersky district</i>	20	1.67	0.71
<i>Okhansk district</i>	20	1.67	1.04
<i>Bolshesosnovka district</i>	18	1.50	1.49
<i>Barda district</i>	17	1.42	0.17
<i>City of Chusovoy</i>	16	1.33	8.96
<i>Sivinsk district</i>	16	1.33	4.90
<i>Kudymkar district</i>	15	1.25	1.53
<i>Gornozavodsk district</i>	14	1.17	1.93
<i>Solikamsk district</i>	14	1.17	0.31
<i>Berezovsk district</i>	13	1.08	2.12
<i>City of Kungur</i>	12	1.00	0.34
<i>Oktyabrsk district</i>	12	1.00	0.59
<i>Orda district</i>	12	1.00	1.30

<i>Osa district</i>	12	1.00	0.33
<i>Suksun district</i>	12	1.00	0.88
<i>Usolye district</i>	11	0.92	0.06
<i>Chastye district</i>	11	0.92	2.03
<i>Yusva district</i>	11	0.92	1.46
<i>Kishert district</i>	10	0.83	0.68
<i>Yurla district</i>	10	0.83	0.39
<i>Ocher district</i>	9	0.75	1.00
<i>Elovo district</i>	8	0.67	0.27
<i>Ilyinskiy district</i>	8	0.67	0.08
<i>Cherdyn district</i>	8	0.67	0.14
<i>Kochevo district</i>	7	0.58	0.85
<i>City of Aleksandrovsk</i>	6	0.50	0.21
<i>City of Gremyachinsk</i>	6	0.50	0.33
<i>City of Kudymkar</i>	5	0.42	0.02
<i>Gayny district</i>	5	0.42	0.90
<i>Uinskoe district</i>	3	0.25	0.01
<i>City of Kizel</i>	2	0.17	0.01
<i>City of Gubakha</i>	1	0.08	0.01

Source: calculated by the authors.

Таблица 6
Потенциал кластеризации сельского хозяйства муниципальных образований
Республики Удмуртия

Муниципальное образование (МО)	Количество организаций в МО	Доля организаций МО в общем количестве в регионе	Доля МО в общей выручке региона
г. Ижевск	103	15,80	5,94
Завьяловский район	59	9,05	22,87
Малопургинский район	31	4,75	2,96
Можгинский район	30	4,60	4,44
Воткинский район	28	4,29	1,57
Увинский район	28	4,29	4,85
Игринский район	25	3,83	2,33
Балезинский район	24	3,68	2,73
Якшур-Бодьинский район	24	3,68	0,57
г. Сарапул	22	3,37	1,92
Вавожский район	19	2,91	6,95
Глазовский район	19	2,91	2,88
Алнашский район	19	2,91	3,27
Кезский район	19	2,91	2,17
Шарканский район	19	2,91	5,09
Сарапульский район	18	2,76	5,16
Дебесский район	17	2,61	2,39
г. Глазов	16	2,45	12,03
Сюмсинский район	15	2,30	1,61
г. Воткинск	14	2,15	0,05
Каракулинский район	14	2,15	0,37
Кизнерский район	14	2,15	0,87
Граховский район	12	1,84	1,45
Красногорский район	12	1,84	0,62
г. Можга	11	1,69	0,26
Селтинский район	10	1,53	1,41
Юкаменский район	10	1,53	1,61
Ярский район	9	1,38	0,84
Камбарский район	6	0,92	0,20
Киясовский район	5	0,77	0,60

Источник: рассчитано авторами.

Table 6

The potential for clustering agriculture in the municipal entities of the Udmurt Republic

<i>Municipal entity (ME)</i>	<i>Number of organizations in the ME</i>	<i>Share of organizations in the ME relative to the total number in the region</i>	<i>Share of the ME in the total revenue of the region</i>
<i>City of Izhevsk</i>	<i>103</i>	<i>15.80</i>	<i>5.94</i>
<i>Zavyalovo district</i>	<i>59</i>	<i>9.05</i>	<i>22.87</i>
<i>Malaya Purga district</i>	<i>31</i>	<i>4.75</i>	<i>2.96</i>
<i>Mozhga district</i>	<i>30</i>	<i>4.60</i>	<i>4.44</i>
<i>Votkinsk district</i>	<i>28</i>	<i>4.29</i>	<i>1.57</i>
<i>Uvinsk district</i>	<i>28</i>	<i>4.29</i>	<i>4.85</i>
<i>Igrinsk district</i>	<i>25</i>	<i>3.83</i>	<i>2.33</i>
<i>Balezino district</i>	<i>24</i>	<i>3.68</i>	<i>2.73</i>
<i>Yakshur-Bodya district</i>	<i>24</i>	<i>3.68</i>	<i>0.57</i>
<i>City of Sarapul</i>	<i>22</i>	<i>3.37</i>	<i>1.92</i>
<i>Vavozh district</i>	<i>19</i>	<i>2.91</i>	<i>6.95</i>
<i>Glazov district</i>	<i>19</i>	<i>2.91</i>	<i>2.88</i>
<i>Alnashsk district</i>	<i>19</i>	<i>2.91</i>	<i>3.27</i>
<i>Kez district</i>	<i>19</i>	<i>2.91</i>	<i>2.17</i>
<i>Sharkanov district</i>	<i>19</i>	<i>2.91</i>	<i>5.09</i>
<i>Sarapul district</i>	<i>18</i>	<i>2.76</i>	<i>5.16</i>
<i>Debesy district</i>	<i>17</i>	<i>2.61</i>	<i>2.39</i>
<i>City of Glazov</i>	<i>16</i>	<i>2.45</i>	<i>12.03</i>
<i>Syumsi district</i>	<i>15</i>	<i>2.30</i>	<i>1.61</i>
<i>City of Votkinsk</i>	<i>14</i>	<i>2.15</i>	<i>0.05</i>
<i>Karakulin district</i>	<i>14</i>	<i>2.15</i>	<i>0.37</i>
<i>Kizner district</i>	<i>14</i>	<i>2.15</i>	<i>0.87</i>
<i>Grakhovsk district</i>	<i>12</i>	<i>1.84</i>	<i>1.45</i>
<i>Krasnogorsk district</i>	<i>12</i>	<i>1.84</i>	<i>0.62</i>
<i>City of Mozhga</i>	<i>11</i>	<i>1.69</i>	<i>0.26</i>
<i>Selti district</i>	<i>10</i>	<i>1.53</i>	<i>1.41</i>
<i>Yukamenskoe district</i>	<i>10</i>	<i>1.53</i>	<i>1.61</i>
<i>Yarsk district</i>	<i>9</i>	<i>1.38</i>	<i>0.84</i>
<i>Kambarka district</i>	<i>6</i>	<i>0.92</i>	<i>0.20</i>
<i>Kiyasovo district</i>	<i>5</i>	<i>0.77</i>	<i>0.60</i>

Source: calculated by the authors.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученные в ходе исследования результаты позволили предложить авторский подход к оценке потенциала кластеризации сельскохозяйственного производства в российских регионах, а также выделить три базовых показателя оценки кластеризации сельскохозяйственного производства. Сделан вывод о целесообразности формирования в указанных регионах мультиотраслевых кластеров (мультикластеров) сельского хозяйства, также интегрирующих предприятия и организации в сфере лесоводства и лесозаготовки, рыболовства и рыбоводства.

В представленной работе обосновано рассмотрение пространственной структуры кластеров в рамках административных границ муниципальных образований верхнего уровня, то есть не рассматри-

ваются границы городских и сельских поселений, административно входящих в состав муниципальных районов. Данный подход может применяться не только в границах одного субъекта РФ или в рамках одной отрасли, но и для анализа пространственной структуры межрегиональных и/или мультиотраслевых кластеров.

В ходе исследования сделан вывод о наличии нескольких центров кластеризации аграрного сектора Пермского края, что обусловлено большой территорией региона и неравномерным распределением производственных сил в силу климатических особенностей. Отметим, что такая ситуация характерна для многих крупных субъектов Российской Федерации.

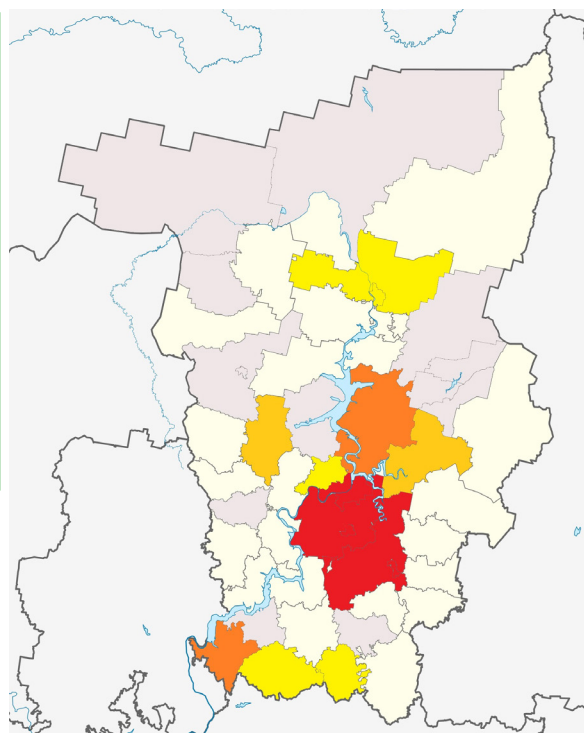


Рис. 3. Пространственная структура кластеризации сельского хозяйства Пермского края
Источник: построено авторами
Fig. 3. Spatial structure of agricultural clustering in the Perm region
Source: built by the authors

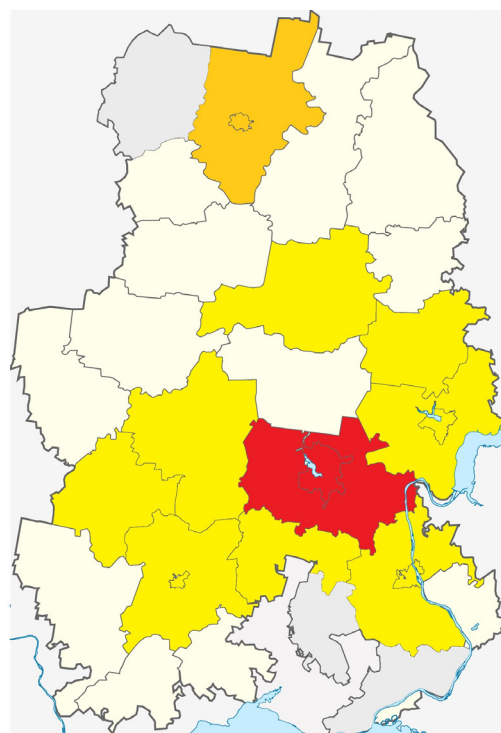


Рис. 4. Пространственная структура кластеризации сельского хозяйства Республики Удмуртия
Источник: построено авторами
Fig. 4. Spatial structure of agricultural clustering in the Republic of Udmurtia
Source: built by the authors

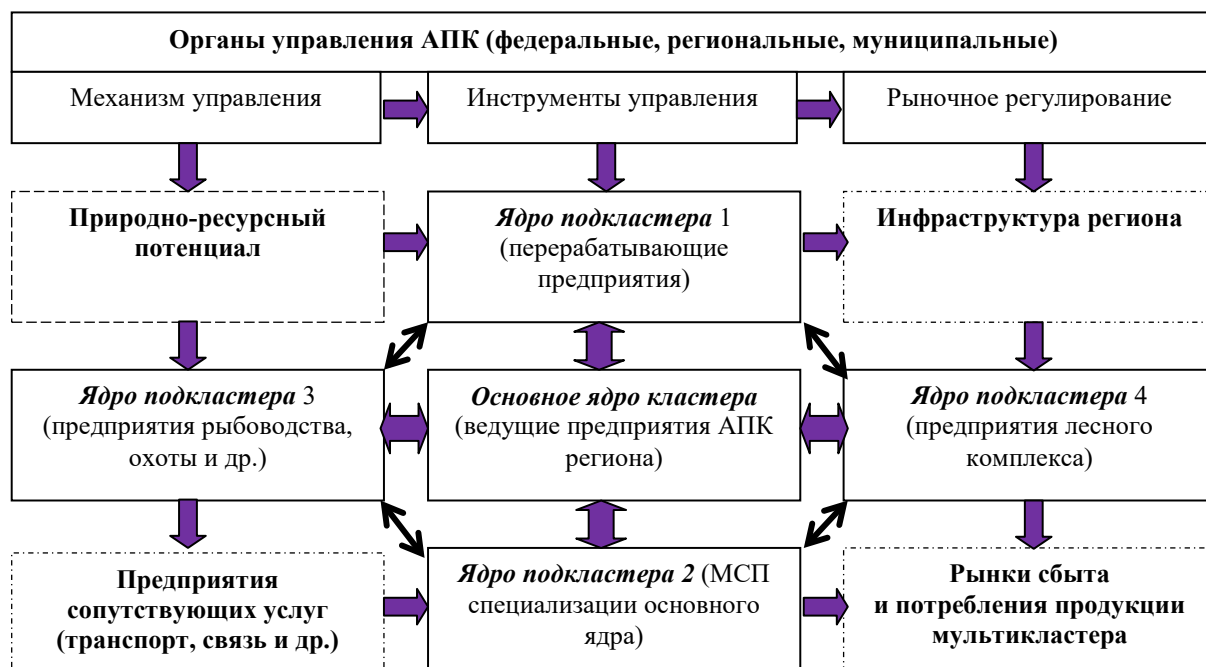


Рис. 5. Процесс формирования мультиотраслевых кластеров (мультикластеров) сельского хозяйства
Источник: разработано авторами

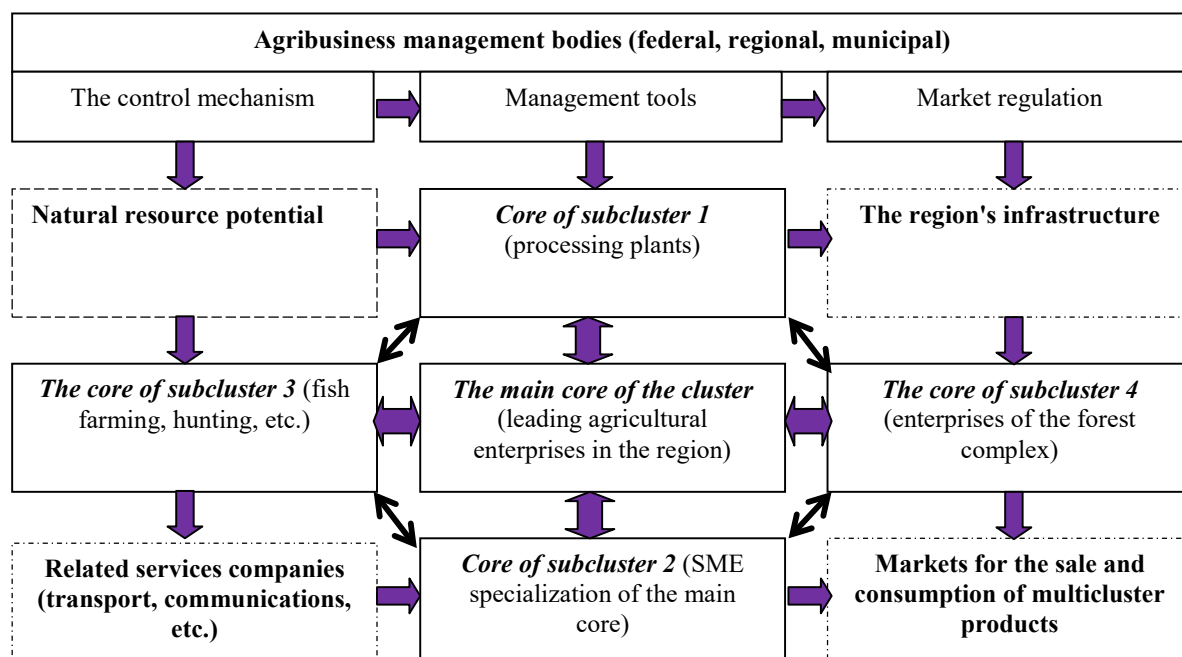


Fig. 5. The process of formation of multi-industry clusters (multiclusters) of agriculture
Source: developed by the authors

Нами выделено четыре центра кластеризации сельского хозяйства Пермского края:

1. Пермский городской округ, а также Пермский и Кунгурский районы (научно-образовательное и инфраструктурно-производственное ядро кластера).
2. Чайковский городской округ (южный центр), выполняющий также функции центра межрегиональной кластеризации с Удмуртской Республикой.
3. Карагайский район (западный центр).
4. Соликамский район (северный центр), играющий ключевую роль для кластеризации северной части региона, характеризующейся недостаточным организационно-экономическим потенциалом сельского хозяйства для самостоятельных кластерных инициатив.

В Удмуртской Республике выявлено два центра кластеризации сельскохозяйственного производства:

1. Ижевский городской округ и Завьяловский муниципальный район (научно-образовательное и инфраструктурно-производственное ядро кластера).

2. Глазовский муниципальный район (северный центр), имеющий большое значение для межрегиональной кластеризации с Кировской областью.

Теоретическая модель кластера обладает потенциальными преимуществами, позволяющими снизить ограничения инновационного развития сельских территорий, вызванные рассредоточенностью инновационно и промышленно развитых территорий в экономическом пространстве российских регионов. Кластерная модель развития предполагает интеграцию ресурсного потенциала периферийных территорий российских регионов, недостаточного для самостоятельной реализации кластерных инициатив.

Результаты данного исследования создают основу для последующего развития теории и методологии кластеризации сельскохозяйственного производства в частности форм, механизмов и инструментов кластерного развития сельских территорий.

Библиографический список

1. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J., Jayasinghe N., Kodikara N., Suraweera P., Merah O. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture // Farming System. 2023. Vol. 1, No. 1. Article number 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
2. Koppenberg M. Markups, organic agriculture and downstream concentration at the example of European dairy farmers // Agricultural Economics. 2023. Vol. 54, No. 2. Pp. 161–178. DOI: 10.1111/agec.12762.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.05.2019 г. № 696 Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_326085 (дата обращения: 02.02.2025).

4. Напольских Д. Л., Плешанова Д. А. Систематизация моделей развития региональных промышленных кластеров в Российской Федерации // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 11. С. 156–160.
5. Напольских Д. Л. Формирование инновационно-природопользовательского мультикластера как фактора модернизации региональных экономических систем // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2014. № 5. С. 33–44.
6. Басарева В. Г. Концептуальные основы повышения инновационно-инвестиционной привлекательности сельского хозяйства муниципального района // АПК: экономика, управление. 2023. № 10. С. 57–63. DOI: 10.33305/2310-57.
7. Каримова М. Т. Агропищевые кластеры в рамках обеспечения продовольственной безопасности страны // Экономика Таджикистана. 2022. № 4 (1). С. 51–56.
8. Палаткин И. В. Оценка возможностей развития органического сельского хозяйства в муниципальных районах // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2023. № 14. С. 572–587. DOI: 10.18184/2079-4665.2023.14.4.572-587.
9. Семенов С. Н. Вопросы кластерной теории агропромышленной интеграции в управлении устойчивым развитием АПК и сельских территорий // Научное обозрение: теория и практика. 2021. Т. 11, № 1. С. 219–247. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-1-219-247.
10. Локтионов П. В. Трансформация модели «Сельское хозяйство 4.0» в логистическую систему сельскохозяйственных кластеров // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика: материалы I Национальной научно-образовательной конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 170–175.
11. Юдин А. А. Развитие инновационных кластеров в агропромышленном комплексе республики Коми с использованием инструментов бизнес-инкубации // Московский экономический журнал. 2021. № 1. С. 130–140. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10025.
12. Дзампаев А. К. Кластерный подход как повышение эффективности разнопрофильных предприятий АПК // Современные концепции и парадигмы образования в условиях мирового эпидемиологического кризиса: материалы VI Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2020. Т. 2. С. 225–228.
13. Михайлова Л. В. Кластерный подход в развитии субъектов малого агробизнеса // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, №1. С. 125–130. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-125-130.
14. Van Wassenae L., Oosterkamp E., van Asseldonk M., et al. Food system resilience: ontology development and impossible trinitities // Agricultural & Food Security. 2021. No. 10. Article number 38. DOI: 10.1186/s40066-021-00332-7.
15. Ghazaryan E. Agro-industrial complex sustainability in the eurasian economic union countries: the aspect of food security // Sustainable Development and Engineering Economics. 2024. No. 2 (12). Pp. 25–43. DOI: 10.48554/SDEE.2024.2.2.
16. Napolskikh D. Innovation clusters as a factor of sustainable territorial development in the context of digital transformation // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development. Springer Proceedings in Business and Economics. 2024. P. 377–387. DOI: 10.1007/978-3-031-56380-5.
17. Носов А. Л. Цели и результаты агропромышленного кластера // Новая экономика России в Индустрии 4.0: материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Москва. 2022. С. 106–113.
18. Шестаков Р. Б. Кластеризация регионов на основе базовых аграрно-экономических критериев // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 1. С. 178–191. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-14.
19. Зайцев А. Г. Агропромышленные кластеры как источник инновационного развития: стратегия и институты // Вестник аграрной науки. 2021. № 2 (89). С. 113–118. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.113.
20. Трофимова А. И. Образовательно-производственный центр (кластер) отрасли сельское хозяйство Пермского края как инструмент пространственного развития агропромышленного сектора экономики региона // Саяпинские чтения: материалы VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Тамбов, 2024. С. 309–317.

Об авторах:

Матвей Сергеевич Оборин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономического анализа и статистики, Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, Пермь, Россия; профессор кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия;

профессор кафедры менеджмента, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-4281-8615, AuthorID 747778.

E-mail: recreachin@rambler.ru

Анна Николаевна Полухина, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры сервиса и туризма, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия;

ORCID 0000-0002-8978-5419, AuthorID 412046. E-mail: PoluhinaAN@volgatech.net

Дмитрий Леонидович Напольских, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и права, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия;

ORCID 0000-0001-7661-3469, AuthorID 596038. E-mail: NapolskihDL@yandex.ru

References

1. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J., Jayasinghe N., Kodikara N., Suraweera P., Merah O. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. 2023; 1 (1): 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
2. Koppenberg M. Markups, organic agriculture and downstream concentration at the example of European dairy farmers. *Agricultural Economics*. 2023; 54 (2): 161–178. DOI: 10.1111/agec.12762.
3. Resolution of the Government of the Russian Federation of 31.05.2019 No. 696 “On approval of the state program of the Russian Federation “Integrated development of rural areas” and on amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation [Internet]. 2019 [cited 2025 Feb 02]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_326085. (In Russ.)
4. Napolskikh D. L., Pleshanova D. A. Systematization of models for the development of regional industrial clusters in the Russian Federation. *Science and business: Ways of Development*. 2018; 11 (89): 156–160. (In Russ.)
5. Napolskikh D. L. Formation of natural resource-based innovation multicenter as a modernization factor of regional economic systems. *Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Economy and Management*. 2014; 5 (24): 33–44. (In Russ.)
6. Basareva V. G. Conceptual foundations for increasing the innovation and investment attractiveness of agriculture in the municipal district. *AIC: Economics, Management*. 2023; 10: 57–63. DOI: 10.33305/2310-57. (In Russ.)
7. Karimova M. T. Agro-food clusters in the framework of ensuring food security of the country. *Economy of Tajikistan*. 2022; 4 (1): 51–56. (In Russ.)
8. Palatkin I. V. Assessment of the possibilities of organic agriculture development in municipal districts. *MIR (Modernization. Innovations. Development)*. 2023; 14 (4): 572–587. DOI: 10.18184/2079-4665.2023.14.4.572-587. (In Russ.)
9. Semenov S. N. Issues of cluster theory of agro-industrial integration in managing sustainable development of the agro-industrial complex and rural areas. *Scientific Review: Theory and Practice*. 2021; 11 (1): 219–247. DOI: 10.35679/2226-0226-2021-11-1-219-247. (In Russ.)
10. Loktionov P. V. Transformation of the “Agriculture 4.0” model into a logistics system of agricultural clusters. *Logistics: Foresight Research, Profession, Practice: Proceedings of the I National Scientific and Educational Conference*. Saint Petersburg. 2020. Pp. 170–175. (In Russ.)
11. Yudin A. A. Development of innovative clusters in the Agro-Industrial Complex of the Komi Republic using business incubation tools. *Moscow Economic Journal*. 2021; 1: 130–140. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10025. (In Russ.)
12. Dzampaev A. K. Cluster approach as an increase in the efficiency of diversified agricultural enterprises. *Modern concepts and paradigms of education in the context of the global epidemiological crisis: proceedings of the VI international scientific and practical conference*. Rostov-on-Don, 2020. Vol. 2. Pp. 225–228. (In Russ.)
13. Mikhaylova L. V. Cluster approach in the development of small agribusiness entities. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 2023; 18 (9): 125–130. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-125-130. (In Russ.)
14. Van Wassenae L., Oosterkamp, E., van Asseldonk M., et al. Food system resilience: ontology development and impossible trinitities. *Agricultural & Food Security*. 2021; 10: 38. DOI: 10.1186/s40066-021-00332-7.
15. Ghazaryan E. Agro-Industrial Complex sustainability in the Eurasian Economic Union countries: the aspect of food security. *Sustainable Development and Engineering Economics*. 2024; 2 (12): 25–43. DOI: 10.48554/SDEE.2024.2.2.
16. Napolskikh D. Innovation clusters as a factor of sustainable territorial development in the context of digital transformation. *Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development. Springer Proceedings in Business and Economics*. 2024: 377–387. DOI: 10.1007/978-3-031-56380-5.

17. Nosov A. L. Objectives and results of the agro-industrial cluster. *New economy of Russia in Industry 4.0: proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Moscow, 2022. Pp. 106–113. (In Russ.)
18. Shestakov R. B. Clustering of regions based on basic agrarian-economic criteria. *Economy of the Region*. 2023; 19 (1): 178–191. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-14. (In Russ.)
19. Zaytsev A. G. Agro-industrial clusters as a source of innovative development: strategy and institutions. *Bulletin of Agrarian Science*. 2021; 2 (89): 113–118. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.113. (In Russ.)
20. Trofimova A. I. Educational and production center (cluster) of the agricultural sector of the Perm Territory as a tool for spatial development of the agro-industrial sector of the regional economy. *Sayapin readings: Proceedings of the VII All-Russian (national) scientific and practical conference*. Tambov, 2024. Pp. 309–317. (In Russ.)

Authors' information:

Matvey S. Oborin, doctor of economic sciences, professor, professor of the department of economic analysis and statistics, Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm, Russia; professor of the department of world and regional economics, economic theory, Perm State National Research University, Perm, Russia; professor of the department of management, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-4281-8615, AuthorID 747778; *E-mail: recreachin@rambler.ru*

Anna N. Polukhina, doctor of economic sciences, associate professor, professor of the department of service and tourism, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia; ORCID 0000-0002-8978-5419, AuthorID 412046. *E-mail: PoluhinaAN@volgatech.net*

Dmitriy L. Napolskikh, candidate of economic sciences, associate professor of the department of management and law, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia; ORCID 0000-0001-7661-3469, AuthorID 596038. *E-mail: NapolskihDL@yandex.ru*

Социализация территориальных экономических систем как фактор стабильного развития регионального социума

Р. М. Садыков✉, В. Я. Ахметов, Т. Р. Ахметов

Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

✉E-mail: SadikovRM@mail.ru

Аннотация. Современные территориальные региональные экономические системы характеризуются наличием возрастающих внутренних противоречий и усилением неустойчивости при взаимодействии их структурных элементов из-за влияния глобализации и санкционного давления западных стран. Постоянно изменяющаяся динамика внутренней и внешней среды территорий вызывает необходимость разработки новых подходов к управлению их эффективным социальным развитием. Среди них относительно новым и перспективным является рассмотрение экономических систем различных уровней (федерального, регионального и муниципального) в свете необходимости их социализации, предполагающей усиление их целевой ориентации на социально ориентированную экономику. **Целью** исследования является раскрытие сущности социализации экономической системы территории как фактора стабильного развития регионального социума и определение приоритетных направлений ее гуманизации. **Методы и методология.** При проведении исследования использовались методы логического, сравнительного, функционального и социологического анализа. **Научная новизна.** Определено, что социализация территориальных экономических систем предполагает переход к модели социально ориентированной экономики, поиск новых современных механизмов и методов, помогающих достичь поставленных целей, эффективное применение различных инноваций, научно-технических достижений и использование технологий нового технологического уклада, формирующего постиндустриальную структуру общественных отношений. Данная модель предполагает эффективную социализацию экономики территорий, делая ее конкурентоспособной для как для отдельных индивидов, так и различных социальных объединений. **Результаты.** Определены основные приоритеты и направления социализации территориальных экономических систем: социальная ориентация и взаимответственность в экономике, социализация общественных отношений в вопросах собственности и потребностей, развитие новых подходов к гуманизации труда и смягчение излишней социальной дифференциации, развитие трудового капитала как составной части человеческого капитала.

Ключевые слова: социализация экономики, социальное развитие, развитие региона, территориальное развитие, территориальные экономические системы, качество трудовой жизни, социально ответственный работник

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-00571-25-00 на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов.

Для цитирования: Садыков Р. М., Ахметов В. Я., Ахметов Т. Р. Социализация территориальных экономических систем как фактор стабильного развития регионального социума // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 991–1002. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-991-1002>.

Дата поступления статьи: 31.01.2025, **дата рецензирования:** 17.03.2025, **дата принятия:** 07.04.2025.

Socialization of territorial economic systems as a factor of stable development of regional society

R. M. Sadykov[✉], V. Ya. Akhmetov, T. R. Akhmetov

Institute of Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

[✉]E-mail: SadykovRM@mail.ru

Abstract. Modern territorial regional economic systems are characterized by the presence of increasing internal contradictions and increasing instability in the interaction of their structural elements due to the influence of globalization and the sanctions pressure of Western countries. The constantly changing dynamics of the internal and external environment of territories necessitates the development of new approaches to managing their effective social development. Among them, it is relatively new and promising to consider economic systems at various levels (federal, regional and municipal) in the light of the need for their socialization, which implies strengthening their target orientation towards a socially oriented economy. **The purpose** of the study is to reveal the essence of the socialization of the economic system of the territory as a factor of the stable development of regional society and to determine the priority directions of its humanization. **Methods and methodology.** The research used methods of logical, comparative, functional and sociological analysis. **Scientific novelty.** It is determined that the socialization of territorial economic systems involves the transition to a model of a socially oriented economy, the search for new modern mechanisms and methods to help achieve their goals, the effective application of various innovations, scientific and technological achievements and the use of technologies of a new technological order that forms the post-industrial structure of public relations. This model assumes effective socialization of the economy of territories, making it competitive for both individuals and various social associations. **Results.** The main priorities and directions of socialization of territorial economic systems have been identified: social orientation and mutual responsibility in the economy, socialization of public relations in matters of property and needs, development of new approaches to humanization of labor and mitigation of excessive social differentiation, development of labor capital as an integral part of human capital.

Keywords: economic socialization, social development, regional development, territorial development, territorial economic systems, quality of working life, socially responsible worker

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the state assignment of the UIC RAS No. 075-00571-25-00 for 2025 and for the planned period of 2026 and 2027.

For citation: Sadykov R. M., Akhmetov V. Ya., Akhmetov T. R. Socialization of territorial economic systems as a factor of stable development of regional society. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 991–1002. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-991-1002>. (In Russ.)

Date of paper submission: 31.01.2025, **date of review:** 17.03.2025, **date of acceptance:** 07.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

С точки зрения научного анализа развития территориальных систем социализация экономики является в настоящее время малоизученным предметом исследования. В современных работах ученых все чаще используются категории «социализация экономики» или «социализация экономических систем». В ряде исследований отмечаются процессы глобального переустройства социально-политической и социально-экономической составляющих эволюции обществ, в которых объективный процесс обобществления производительных сил проясняет признаки социализации государства. Вторая половина XX века изобилует множеством примеров успешно реализованных моделей национальных

экономик с ярко выраженной социально ориентированной составляющей в рыночном способе хозяйствования. Обязательным и основным элементом данных моделей является формирование социально ориентированного государства, в рамках которого должны реализовываться идеи равноправия, свободы и социально активного сотрудничества членов общества для развития человеческого капитала. Российская Федерация к 1990-м годам существенно замедлила и подменила социализацию экономики стремлением к элитарному потреблению формирующегося класса собственников бывшей советской экономики, активно вывозящему в условиях переходной экономики финансовые ресурсы в западные страны. Вместо социализации экономики была ее

монополизация, ресурсы концентрировались у узкой группы собственников в ущерб эффективной социально-территориальной организации национальной экономики.

Социализация экономики означает достижение высокого уровня качества жизни широких масс населения, способствующего преодолению социальных различий и интенсификации развития прогрессивных сфер жизнедеятельности общества. Такое развитие предполагает равномерный социально-экономический прогресс всех без исключения территориальных систем и регионов страны.

Методология и методы исследования (Methods)

Авторами научной статьи проанализированы и выделены в наибольшей степени удачные интерпретации понятия «социализация экономики», укоренившиеся в науке. С точки зрения научного дискурса интерес представляют основы нового направления – социальной экономики, заложенные в трудах зарубежных исследователей А. Этциони, П. Дракера, Д. Белла, Г. Беккера, Д. Бойла, Т. Шульца и др.

Необходимость разработки методологических основ социализации различных экономических систем, механизма ее реализации на практике активизировала исследования отечественных ученых в этой области. Среди них следует особо отметить работы Л. И. Абалкина, М. К. Горшкова, Р. С. Гринберга, Т. И. Заславской, Д. С. Львова, Н. М. Римащевской, Р. В. Рывкиной и др. [1].

Проблемы социализации территориальных экономических систем в аспекте интенсификации процессов модернизации и инновационного развития, дающего возможности для продвижения социальной повестки в экономике, рассматривались различными региональными научно-исследовательскими институтами, в частности Институтом социально-экономического развития территории РАН [2; 3], Институтом экономики Уральского отделения РАН [4; 5] и Институтом социально-экономических исследований УФИЦ РАН [6; 7].

Социализация экономики – основной этап эволюции территориальных экономических систем, завершение которого характеризуется высокой социальной ориентированностью, формированием приоритета развития самого человека и общества. Социализация экономики территории отображается в улучшении условий человеческой жизнедеятельности (повышение качества жизни населения, сокращение социальных различий, интенсификация прогресса общества) [8].

Социализация экономики – это процесс установления социальной справедливости путем объединения государства и общества в механизм по развитию человеческого капитала. Именно со стороны государства требуется создать все условия для его реализации, подготовить необходимую базу для

построения социализации, произвести структурную перестройку экономики и увеличить инвестиции, а также долю расходов бюджета на развитие человеческого потенциала и капитала [9]. А. Б. Берендеева, С. М. Сергеев выделяют следующие направления проявления социализации экономики и показатели для их оценки: нарастание социальных характеристик материального производства; соответствие экономической динамики развития общества (вектор социально-экономического развития) изменяющимся потребностям общества; развитие сферы услуг, в том числе социальных услуг, превращение сферы услуг в крупнейший сектор хозяйства; гуманизация труда; замещение живого труда овеществленным; рост потенциала экономики (инновационного, инвестиционного, институционального, др.) по удовлетворению потребностей человека более высокого порядка, нацеленных на творчество, развитие способностей и талантов; нарастание меры совпадения интереса правящей элиты, бизнеса с интересами общества в целом; повышение значимости человеческого фактора (как аспекта развития новой экономики); установление гибкого взаимодействия между государственными и частными секторами, рыночными и нерыночными началами в экономике; справедливое распределение труда и свободного времени между членами общества; усиление действия экологических ограничений развития экономики; изменение приоритетов в формировании кратко- и долгосрочных целей развития общества, повышение социальных функций накопления [10].

Авторами данной научной работы разработан и предложен алгоритм социализации территориальных экономических систем, отвечающий современным запросам стабильного развития регионального социума: социализация собственности и потребностей, социальная ответственность и ориентированность бизнеса, гуманизация труда и смягчение дифференциации, развитый человеческий и трудовой капитал.

Важным результатом социализации экономической системы должны стать разработка и реализация активной социальной политики при одновременном достижении стабилизации и оживления экономики. Поэтому ради развития общества необходимо обеспечить гармонизацию интересов бизнеса и гражданского общества через реализацию концепции социальной ответственности бизнеса [11].

Эмпирической базой данного исследования стали материалы авторского социологического опроса, проведенного Институтом социально-экономических исследований УФИЦ РАН в июне 2023 года по репрезентативной выборке трудоспособного населения Республики Башкортостан. Объем выборки составил 900 единиц респондентов, ошибка выборки не превышает 3 %. На начальной стадии использовалась вероятностная выборка методом

районирования. В дальнейшем выборка реализована по формализованной анкете методикой квотного отбора. Сам опрос проводился в местах проживания респондентов. Достижимость целей данного научного исследования обеспечивается на основе применения комплекса общенаучных методов, среди которых в первую очередь использовались логический, системный, сравнительный, функциональный и социологический. Материалы проведенного исследования послужили основой анализа и определения роли социализации территориальных экономических систем в прогрессивном стабильном развитии общества.

Результаты (Results)

Базой и основным критерием социализации экономики выступают общественные отношения, определяющие права собственности, среди которых наиболее актуальны коллективная и ассоциированная. Положительный результат социализации экономики достижим за счет развития коллективных форм собственности, а также института рабочего самоуправления при организации производственных советов и представительств в органах управления. Рабочее самоуправление сродни самоконтролю с позиций большего совершенствования и оптимизации функций организации, что способствует повышению производительности труда персонала и оборудования. Коллективная форма управления создает благоприятную управленческую среду, при

которой происходит совместное с работодателями, предпринимателями и работниками принятие необходимых решений социальных вопросов и распределение совместно полученных результатов деятельности.

Основным направлением социализации экономики является вовлечение трудового коллектива в поиск наиболее оптимальных управленческих решений, в том числе касающихся распределения прибыли. Такое совместное управление позволяет усилить контроль охраны труда и соблюдение техники безопасности, способствует совершенствованию условий труда и социально-бытовых условий, системы оплаты труда, социально-трудовых отношений и мотивации сотрудников, повышает производительность труда и позволяет инвестировать в улучшение качества трудового капитала.

Российскими исследователями отмечается, что при существующей концентрации пакетов крупных предприятий в руках государства, бывших их руководителей и иных управляющих структур основная масса работников не ощущает себя собственниками предприятий и организаций. Руководство практически не включает представителей рабочего класса в состав органов управления. Участие работников в процессах управления производством и распределения доходов предприятия является важнейшим элементом социализации экономики [12; 13].

Таблица 1
Причины возникновения трудовых конфликтов (в % от числа опрошенных)

Причины конфликта	Да	Нет	Затрудняюсь ответить
Сверхурочная работа, переработка	39,7	42,8	17,5
Дополнительные трудовые функции	38,7	39,4	21,9
Неудовлетворительные социально-бытовые условия	35,8	43,7	20,4
Неудовлетворенность заработной платой и ее распределением	31,9	47,5	20,6
Неудовлетворительное обеспечение материалами и техникой	30,2	52,5	17,3
Отсутствие возможностей карьерного роста	28,1	48,2	23,7
Сменяемость состава коллектива	24,1	54,8	21,1
Аттестации сотрудников	22,3	55,9	21,8

Источник: составлено авторами по результатам социологического исследования.

Table 1
Causes of labor conflicts (in % of the number of respondents)

Causes of the conflict	Yes	No	I find it difficult to answer
Overtime, recycling	39.7	42.8	17.5
Additional labor functions	38.7	39.4	21.9
Unsatisfactory social and living conditions	35.8	43.7	20.4
Dissatisfaction with wages and their distribution	31.9	47.5	20.6
Unsatisfactory provision of materials and equipment	30.2	52.5	17.3
Lack of career opportunities	28.1	48.2	23.7
The turnover of the team	24.1	54.8	21.1
Employee certifications	22.3	55.9	21.8

Source: compiled by the authors based on the results of a sociological study.

Современная социально-экономическая ситуация в российских регионах, в том числе в Республике Башкортостан, усугубляемая кризисными явлениями, а также результаты проведенного нами социологического исследования свидетельствуют о том, что процесс гуманизации труда пока еще не получил должного развития из-за неудовлетворенности работников уровнем материального и морального стимулирования выполняемой работы, перспективами карьерного роста, социальными гарантиями и т. д. [14]. Поэтому одним из важнейших условий улучшения социально-психологического климата в трудовых коллективах и повышения производительности труда является сейчас совершенствование системы материального и морального стимулирования. Для создания эффективного механизма стимулирования важно четкое определение трудовых функций работников в целях ясного понимания руководителями и персоналом задач в конкретном трудовом процессе. В качестве моральных стимулов могут выступать возможности реализации творческого потенциала работников, профессиональных навыков и умений, возможность приносить пользу общему делу, найти признание среди коллег. Это создание таких условий, при которых работник может почувствовать перспективы служебного роста и улучшения материального благосостояния. Изменение качественных характеристик работника в социально ориентированной экономике, помимо роста доходов и управленческих функций, предполагает также положительную динамику его способностей, компетенций, социальных качеств и ответственности.

Ключевыми показателями, определяющими уровень гуманизации трудовых и социальных отношений, являются различные производственные нарушения и конфликты. Результаты авторского социологического опроса позволили установить наличие трудовых конфликтов и нарушений в организациях и предприятиях Республики Башкортостан, определить их основные причины (таблица 1).

Переработки, дополнительные трудовые функции, неудовлетворенность условиями труда, заработной платой и другие нарушения не способствуют росту производительности труда, социально-экономическому развитию региона и улучшению качества трудовой жизни. Низкие доходы и неудовлетворенность уровнем заработной платы не стимулируют к повышению эффективности и производительности труда. Часто опрошенные респонденты отмечали, что их труд оплачивается гораздо ниже, чем того заслуживает. Формируется проблема несоответствия социально-профессионального статуса работников уровню их социальных притязаний и ведет к нарастанию конфликтного потенциала. Полученные ответы респондентов свидетельствуют о заметном доминировании материальных основа-

ний трудовой мотивации работников. Большинство респондентов полностью согласны с тем, что они работают, чтобы «заработать денег» и «обеспечить стабильность своей жизни»; человек работает для удовлетворения собственных потребностей и обеспечения семьи.

С одной стороны, гуманизация труда – это мотивация и приспособление, работника к эффективной деятельности в новых условиях инновационной экономики и тех или иных сторон трудовой жизни к человеку труда. С другой стороны, гуманизация труда предполагает создание благоприятных деловых условий и трудовой самоорганизации для максимальной реализации его познавательно-творческого потенциала. Основные направления гуманизации труда: объединение разрозненных элементов работы в единый процесс, обеспечение безопасности, надежности производственных процессов, соответствие содержания деятельности требованиям личности, снижение монотонности и бессодержательности деятельности, реализация социально-экономического потенциала труда, обогащение труда научной и творческой составляющими, экологичность и эстетизация рабочего места, устранение негативного воздействия на окружающую среду [15].

Социализация экономики служит обеспечению роста социальной направленности и улучшению качественных характеристик трудового коллектива. Создание конкурентоспособных условий труда способствует привлечению наиболее квалифицированных работников и повышению квалификации, увеличивая экономический эффект от использования и внедрения новых технологий. Социализация экономики детерминирована изменением характеристик и условий труда, повышая роль работника, создавая накопление квалификационного, компетентного, технологического и в конечном итоге экономического богатства. Бережливое производство, повышение производительности труда, внедрение передовых технологий, постоянство процесса инноваций – это те направления развития предприятий и организаций, которые требуют необходимого уровня квалификации работников, что влечет необходимость обучения, повышения уровня культуры производства и создания конкурентоспособных условий труда.

Авторами настоящей научной работы выделяются следующие критерии конкурентоспособности условий труда и жизни трудового коллектива в условиях социализации экономики: условия менеджмента и реализации трудового потенциала (работник должен трудиться с наибольшей эффективностью и отдачей), условия удовлетворенности жизненными потребностями работника (повышение материальной заинтересованности работника в труде за счет обоснования дифференциации оплаты

за выполнение трудовых обязанностей в зависимости от его непосредственного трудового и квалификационного вклада), конкурентоспособность условий труда, развитость социально ориентированной инфраструктуры предприятия (наличие и развитие санитарно-гигиенических, комфортных условий труда), конкурентоспособность условий быта (развитость социальной и бытовой инфраструктурной составляющей окружающей индивида действительности), конкурентоспособность условий удовлетворения духовных потребностей (доступность и развитость инфраструктуры для активного отдыха), конкурентоспособность в условиях вовлеченности работника в управление коллективом, организацией (установление дополнительного представительства работников и увеличение полномочий при процессах принятия решений и управления предприятием).

Социологический опрос, проведенный авторами, подтверждает необходимость гуманизации социально-трудовых отношений (таблица 2).

Одними из важных составляющих в улучшении условий социально-психологического климата трудового коллектива в целом являются повышение производительности труда и квалификации работников, материальное и моральное стимулирование,

конкурентоспособность условий работы. Применение эффективных механизмов стимулирования и поощрения должно сопровождаться четким определением трудовой функции конкретного работника для уяснения руководителем и самим лицом, выполняющим трудовые обязанности, важнейших целей и задач трудового процесса. Алгоритм индивидуального успеха работника должен быть прояснен как перспектива его служебного роста, значительного увеличения материального поощрения и впоследствии обеспечения индивидуального благосостояния [16; 17].

Не стоит забывать и о формальных нормах трудовых отношений, необходимости жестко контролировать исполнение требований техники безопасности и норм коллективных договоров. Несоблюдение таких норм вызывает у работника чувство неудовлетворенности и снижает эффективность корпоративных мотивационно-информационных мероприятий. Значительные социальные резервы не используются в полной мере в условиях перехода к современному наукоемкому производству, так что необходимы меры управленческого воздействия по совершенствованию управления социально-трудовой сферой [18].

Таблица 2
Удовлетворенность различными аспектами труда (в % от числа опрошенных)

Варианты ответа	Удовлетворен	Не удовлетворен
Специфика выполняемой работы	87,1	12,9
Отношения в трудовом коллективе	86,2	13,8
Отношения с руководством	79,3	20,7
Условия труда	75,2	24,8
Расстояние от дома до работы	67,6	32,4
Соответствие работы образованию	67,3	32,9
Надежность работы	60,3	39,7
Возможности повышения квалификации	58,3	41,7
Социальные гарантии	53,8	46,2
Перспективы карьерного роста	53,0	47,0
Размер заработной платы	48,5	51,5

Источник: составлено авторами по результатам социологического исследования.

Table 2
Satisfaction with various aspects of work (in % of the number of respondents)

Answer options	Satisfied	Not satisfied
The specifics of the work performed	87.1	12.9
Labor relations	86.2	13.8
Relationship with management	79.3	20.7
Working conditions	75.2	24.8
Distance from home to work	67.6	32.4
Job compliance with education	67.3	32.9
Reliability of operation	60.3	39.7
Professional development opportunities	58.3	41.7
Social guarantees	53.8	46.2
Career prospects	53.0	47.0
The amount of salary	48.5	51.5

Source: compiled by the authors based on the results of a sociological study.

Анализ имеющихся исследований в области управления удовлетворенностью трудом показывает, что наибольшие результаты в достижении роста качества трудовой жизни и эффективности труда достигаются при использовании гибкой системы стимулирования: отвечать целям деятельности организации и максимально учитывать актуальные потребности работников [19]. Гибкая организация трудовой деятельности и системы стимулирования относится к одному из наиболее эффективных средств управленческого процесса. Изменения в мотивации труда и доминирующих ценностях происходят не только с каждым новым поколением — на них влияет множество факторов как экономического, так и неэкономического порядка. Множественность ценностей труда присуща и молодежи, и занятому населению: у каждой группы материальные ценности труда соединены с ориентацией либо на самореализацию, либо на карьеру, либо на социальное признание труда [20].

По мнению авторов настоящей работы, детерминирующими факторами развития трудовых ресурсов при социализации региональной экономики являются совершенствование структурных составляющих трудового капитала (развитый профессиональный уровень работников, наличие профессиональных компетенций, низкая доля низкоквалифицированного труда), социализация трудовых факторов производства (эффективная организация труда, высокая содержательность труда, совершенная система оплаты труда), улучшение условий труда (обеспеченные санитарно-гигиенические условия труда, здоровая производственная среда, здоровье и профессиональное долголетие работников), обеспечение уровня дисциплины и мотивации труда (высокая трудовая дисциплина и мотивация труда), стимулирование трудовой активности и творческой инициативы (трудовая активность, творческая инициативность, вовлеченность работников в управление) [21].

Показателен опыт США 1960-х годов, где движение «Качество трудовой жизни», опирающееся на социотехнический системный подход к трудовой деятельности, подходило с позиций уровня благосостояния работников и участия в управлении, достижения функциональной эффективности. Социотехнические проекты включали перепроектирование труда, автономные рабочие группы и комитеты поддержки управленческих решений. Данные проекты способствовали существенному улучшению трудовой деятельности на предприятиях.

Социально ориентированная экономика региона нуждается в высококвалифицированных рабочих новых типов, имеющих высокий культурный и образовательный уровень, обладающих высокой социальной и психологической устойчивостью, высоким уровнем ответственности, исполнительности

и заинтересованности в высоких результатах своего труда и т. д. Человек становится основной категорией влияния на конечный результат деятельности организации, выступая как рабочая сила, основной объект и субъект стабильного общественного развития. Включенность в социальные коммуникации, связи рассматривается как важное условие формирования трудового капитала, облегчающее взаимодействие внутри организации [22].

В условиях социализации экономики «экономического работника» (поведение работника определено экономическими обстоятельствами и условиями, направлено на максимизацию материальной удовлетворенности) сменяет «социально ответственный работник», который осуществляет свою деятельность исходя из социальных норм и мотивов, своих личных обязательств и ожиданий, ценностей и потребностей, активности и ответственности.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Труд стал более незащищенным и нестабильным, особую тревогу вызывают растущая распространенность бедности и малообеспеченности в рабочей среде, а также увеличивающееся неравенство доходов. Все это создает большие угрозы общественному развитию и стабильности регионального общества [23]. Человечество оказалось в ситуации, когда в погоне за накоплением капитала и обогащением незначительной группы отдельных индивидов стремительно разрушается социальная ткань общества. Это ставит мировую цивилизацию перед выбором экзистенциального характера, выходящим далеко за пределы логики капиталистического накопления. Преодоление этих проблем требует изменения социально-экономической повестки, коренных преобразований институциональной среды. Становится очевидным, что сегодня необходим принципиально иной подход в экономике [24].

Социализация экономики определяется в повышении роли и значения каждого работающего гражданина, его субъектности по отношению к производству, более полном его проявлении в социуме. Качественно обновленный трудовой капитал, состоящий не просто из работников, а из граждан, проявляющих большую заинтересованность в развитии общего дела, способен привести к развитию новейших форм организации труда. Высокообразованный работник закономерно становится собственником интеллектуального актива, используемого в бизнесе, и обладателем своей доли, участвуя в управлении и наиболее его рациональном использовании в процессах производства.

В качестве приоритетных ценностей можно выделить самореализацию и развитие работника, сплоченность коллектива и социальную безопасность семьи. Ценностные ориентации на себя, собственное развитие сочетаются с социальными и семейными ценностями. О существенных измене-

ниях в понимании значимости трудовой деятельности свидетельствуют также результаты долгосрочных семантических исследований интернет-постов, проведенных в США. Авторы этих исследований подтвердили постоянно идущую трансформацию в понимании важности труда, которую необходимо учитывать на практике организациям и работодателям [25].

Рост активности в применении знаний, повышение мастерства и компетенций работника становятся следствием заинтересованности в квалифицированном труде, формирующем социально ориентированную региональную экономику. Развитие творчества на основе знаний и компетенций, реализующих способности работника, способствует более полной социальной и социокультурной его самореализации. Потребности личности, наиболее полно реализуемые в социуме, являются важной характеристикой и главным мотивационным фактором социализации экономики. Социокультурные изменения современности требуют еще большей социализации территориальной экономики. Труд стал наукоемким, инновационно-динамичным и реализует потребности в общественных интересах, ориентируя бизнес на социально ответственную деятельность. Трудящийся гражданин реализует социальный прогресс, не просто увеличивая экономические показатели: он развивает себя, раскрывает свой потенциал и увеличивает общие возможности всех индивидов, образующих социум [26; 27]. Труд должен развивать работников и давать им возможность осознавать свою причастность к коллективной деятельности, тогда как в реальной организации труда, напротив, преобладают индивидуализация, прекаризация [28].

Технологические возможности нового экономического развития радикально влияют на приоритеты и ценности труда. У молодого поколения работников существенно изменяется баланс ценности труда и качества жизни в пользу последней. Повсеместно появились работающие вне офиса, с легкостью меняющие место жительства в поисках более высокого качества жизни и ценящие труд не выше досуга [29].

В советский период в стране обязанностью работника являлись повышение квалификации и компетентности, коллективизм, справедливость, тактичность, стремление к знаниям и развитие личных качеств. Современность проявляет социально ориентированные качества: трудолюбие, внимательность к коллегам и окружающему социуму, долг и честь, активность и ответственность. Социализация экономики предполагает, что перечисленные качества помогут работнику приспособиться к новым социальным условиям и активнейшим образом будут способствовать реализации его способностей и творческого потенциала в профессиональной

деятельности. Современный работник есть цель развития всего социально-экономического поступательного движения, так как возросла роль науки и образования, знаний и компетенций, актуализирована социокультурная активность и связанная с ней деятельность [30].

Авторами настоящей научной статьи определены приоритетные направления стабильного развития регионального социума с позиции концепции социализации региональных экономическим систем, включающие обеспечение социальной направленности функционирования территориальной экономической системы, формирование эффективного и качественного трудового капитала, обеспечение устойчивости ключевых социальных параметров жизнедеятельности территориального социума [31–34]. Также определены основные направления социализации экономической системы, к которым относятся социальная ориентированность и ответственность экономики, социализация собственности, гуманизация труда, развитие человеческого и трудового капитала, смягчение социальной дифференциации, социализация потребностей. Социализация экономики выражается в повышении роли работника не только как субъекта, но и как объекта трудового процесса, изменении количественных и качественных его характеристик и социально ответственной направленности. На смену традиционному типу приходит «социально ответственный работник», поведение которого определяется социальными нормами и мотивами, обязательствами и ожиданиями, социальной активностью и ответственностью.

В условиях проведения специальной военной операции, санкционных ограничений стран Запада и складывающейся в связи с этим социально-экономической ситуации в России усугубляются некоторые кризисные явления [35]. Современные внешние вызовы сужают возможности для социализации экономики, замедляя импортные поставки высокотехнологичного оборудования, использующего цифровые технологии. В Российской Федерации стратегии социального развития территорий и социализации экономики способны проявиться в самых разнообразных формах. Они отражаются в экономическом разнообразии, которое формирует самодостаточность, стабильность, эффективность территориальных экономик, функционирующих во благо удовлетворения основных нужд и базовых потребностей общества и его индивидов. Социализация территориальных экономических систем станет фактором стабильного развития регионального социума, проводником интересов и потребностей всех индивидов.

Таким образом, на наш взгляд, результаты данного исследования способны внести определенный вклад в развитие теоретических и прикладных ис-

следований в области социализации территориальных экономических систем. Также они могут быть использованы для совершенствования информационно-методической базы при разработке социальной политики на федеральном и региональном уровнях. Выводы, полученные в результате исследования, открывают новые перспективы для разработки комплексной модели управления социальным развитием посредством формирования механизмов социализации экономики, их внедрения в практику функционирования территориальных экономиче-

ских систем. Результаты, выводы и предложения рекомендуются для использования органам государственной власти и местного самоуправления для обоснования мер управления социальным развитием территории, разработки соответствующих программ социально-экономического развития; научно-исследовательским организациям, специализирующимся в исследованиях социального и экономического развития региона; высшим учебным заведениям для подготовки и совершенствования учебных дисциплин.

Библиографический список

1. Постсоветское пространство: между Европой и Азией / Б. П. Гуселетов, Л. Брангш, Л. Б. Вардомский [и др.]. Москва: Федеральный научно-исследовательский социологический центр Российской академии наук, 2022. 187 с.
2. Социокультурная эволюция России: 30 лет исследований / Е. В. Андрианова, Л. А. Беляева, В. А. Давыденко [и др.]. Москва: Весь Мир, 2022. 190 с.
3. Экономика региона / А. А. Шабунова, Т. В. Ускова, О. Н. Калачикова [и др.]. Москва: Инфра-М, 2021. 358 с.
4. Теории эволюции социально-экономических систем / Под ред. академика РАН А. И. Татаркина и В. И. Маевского. Москва: Экономика, 2021. 486 с.
5. Татаркин А. И., Дорошенко С. В. Регион как саморазвивающаяся социально-экономическая система // Экономика региона. 2021. № 1. С. 15–23.
6. Социализация экономики как фактор социального развития региона / Г. Ф. Биглова, Е. Ю. Бикметов, Л. А. Герасимова [и др.]. Уфа: Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН, 2019. 298 с.
7. Территориальное расселение и структурная трансформация экономики регионов (концептуальные основы анализа и моделирования) / Д. А. Гайнанов, М. М. Низамутдинов, Ю. С. Аитова [и др.]. Уфа: ИСЭИ УФИЦ РАН, 2022. 184 с.
8. Hussain A. Building a human economy to overcome underdevelopment: a strategy of sustained growth and economic independence // Strategic Thought. 2020. Vol. 1. Pp. 58–79.
9. Сергеев С. М. Социализация экономики: основные показатели и критерии в рамках программно-целевого подхода // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2022. № 4 (72). С. 6–13. DOI: 10.6060/snt.20227204.0001.
10. Берендеева А. Б., Сергеев С. М. Социализация экономики: теоретические подходы к оценке показателей и потенциал // Теоретическая экономика. 2023. № 1(97). С. 13–28. DOI: 10.52957/22213260_2023_1_13.
11. Мешкова Н. Л., Коршик Л. В. Социализация экономики как приоритет развития общества // Экономика: теория и практика. 2023. № 2 (70). С. 72–76. DOI: 10.31429/2224042X_2023_70_72.
12. Чередниченко Л. Г., Губарев Р. В., Дзюба Е. И., Файзуллин Ф. С. Формирование эффективной российской системы управления в контексте построения социального государства // Журнал экономической теории. 2020. Т. 17, № 3. С. 530–545. DOI: 10.31063/2073-6517/2020.17-3.2.
13. Файзуллин Ф. С., Файзуллин И. Ф. Социализация экономики как фактор сокращения различий в качестве жизни // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2022. № 1. С. 46–60. DOI: 10.15593/2224-9354/2022.1.4.
14. Ахметов В. Я., Садыков Р. М. Модификация трудового капитала и кадрового обеспечения сельских территорий в условиях цифровизации экономики // АПК: экономика, управление. 2022. № 6. С. 98–106. DOI: 10.33305/226-98.
15. Елескин С. Э., Кувакова И. М. Инновационная экономика и гуманизация социально-трудовых отношений: проблемы и пути развития // Труд и социальные отношения. 2022. Т. 33, № 5. С. 124–136. DOI: 10.20410/2073-7815-2022-33-5-124-136.
16. Başı E., Başı S., Gherby T. Money growth and social stability // Central European Review of Economics and Management. 2021. Vol. 5 (4). Pp. 96–115. DOI: 10.29015/cerem.931.
17. Hajdu O. A New generalized variance approach for measuring multidimensional inequality and poverty // Social Indicators Research. 2021. Vol. 158. Pp. 839–861. DOI: 10.1007/s11205-021-02720-9.
18. Бочаров В. Ю. Дифференциация трудовых отношений на современном наукоемком предприятии (опыт case-study) // Социологические исследования. 2024. № 5. С. 54–65. DOI: 10.31857/S0132162524050042.

19. Свинухова Ю. Н. Система нематериального стимулирования персонала как механизм повышения эффективности трудовой деятельности и нивелирования конфликтных проявлений в сфере социально-трудовых отношений (на примере предприятий Республики Башкортостан) // Конфликтология / Nota Bene. 2021. № 4. С. 35–43. DOI: 10.7256/2454-0617.2021.4.37045.
20. Титаренко Л. Г., Карапетян Р. В. Изменяющиеся ценности труда (по материалам российских и зарубежных публикаций) // Социологические исследования. 2024. № 7. С. 61–72. DOI: 10.31857/S0132162524070077.
21. Садыков Р. М. Модификация трудового капитала в контексте социализации экономической системы региона // Региональная экономика: теория и практика. 2021. № 11. С. 2071–2085. DOI: 10.24891/re.19.11.2071.
22. Akhmetov V. Y., Galikeev R. N., Sadikov R. M., Bolshakova N. L., Ispulova S. N. Qualitative update of the characteristics of labor in the context of digitalization of the economy of the region // In: A. V. Bogoviz, E. G. Popkova (eds). Digital Technologies and Institution for Sustainable Development. Cham, Switzerland: Springer, 2022. Pp. 29–33. DOI: 10.1007/978-3-031-04289-8_5.
23. Строев П. В., Низамутдинов М. М., Орешников В. В. Методический подход к комплексной оценке уровня жизни населения в регионах России // Регионология. 2024. Т. 32, № 1 (126). С. 71–89. DOI: 10.15507/2413-1407.126.032.202401.071-089.
24. Буткалюк В. А. Социальные последствия трансформирования сферы труда в условиях экономической глобализации // Социологические исследования. 2021. № 1. С. 121–131. DOI: 10.31857/S013216250010719-3.
25. Varavallo G., Scarpetti G., Barbera F. The moral economy of the great resignation // Humanities and Social Sciences Communications. 2023. No. 10. Article number 587. DOI: 10.1057/s41599-023-02087-x.
26. Mirolubova T., Voroncikhina E. Assessment of the digital transformation impact on regional sustainable development: the case study in Russia // International Journal of Sustainable Economy. 2022. Vol. 14 (1). Pp. 24–54. DOI: 10.1504/ijse.2022.10042954.
27. Novikova N. V., Strogonova E. V. Regional aspects of studying the digital economy in the system of economic growth drivers // Journal of New Economy. 2020. Vol. 21 (2). Pp. 76–93. DOI: 10.29141/2658-5081-2020-21-2-5.
28. Celikates R., Honneth A., Jaeggi R. The Working Sovereign: A conversation with Axel Honneth // Journal of Classical Sociology. 2023. Vol. 23, No. 3. Pp. 318–338. DOI: 10.1177/1468795X231170980.
29. Aroles J., Bonneau C., Bhankaraul S. Conceptualising ‘Meta-Work’ in the context of continuous, global mobility: the case of digital nomadism // Work, Employment and Society. 2023. Vol. 37, No. 5. Pp. 1261–1278. DOI: 10.1177/09500170211069797.
30. Иванов Д. В. Новый подход к оценке социального развития // Социологические исследования. 2021. № 1. С. 50–62. DOI: 10.31857/S013216250010462-1.
31. Аслаева С. Ш. Пространственное развитие сельского хозяйства в регионе // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1714–1724. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724.
32. Приоритетные траектории социального развития региона в условиях социализации экономической системы / Е. Ю. Бикметов, С. В. Егорышев, Л. М. Имаева [и др.]. Уфа: Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН, 2020. 224 с.
33. Приоритеты и факторы модификации трудового капитала в условиях социализации экономической системы региона / Е. Ю. Бикметов, Д. Ф. Ишмуратова, П. А. Иванов [и др.]. Уфа: Институт социально-экономических исследований УНЦ РАН, 2021. 190 с.
34. He Y., Wu J., Zhou G., Zhou B. Discussion on rural sustainability and rural sustainability science // Acta Geographica Sinica. 2020. Vol. 75 (4). Pp. 736–752. DOI: 10.11821/dlxb202004006.
35. Садыков Р. М., Ахметов В. Я. Угрозы и риски социального развития сельских территорий в условиях цифровой трансформации экономики // АПК: экономика, управление. 2024. № 6. С. 90–99. DOI: 10.33305/246-90.

Об авторах:

Рамиль Мидхатович Садыков, кандидат социологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-1843-4857, AuthorID 427272.

E-mail: SadikovRM@mail.ru

Виллор Ямилевич Ахметов, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0003-0575-0903, AuthorID 264862.

E-mail: willi76@mail.ru

Тагир Ремалевич Ахметов, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-3857-6174, AuthorID 264891. E-mail: docant73@mail.ru

References

1. Guseletov B. P., Brangsh L., Vardomskiy L. B., et al. *Post-Soviet space: between Europe and Asia*. Moscow: Federal Research Sociological Center of the Russian Academy of Sciences, 2022. 187 p. (In Russ.)
2. Andrianova E. V., L Belyaeva. A., Davydenko V. A., et al. *Sociocultural evolution of Russia: 30 years of research*. Moscow: Ves' Mir, 2022. 190 p. (In Russ.)
3. Shabunova A. A., Uskova T. V., Kalachikova O. N., et al. *Economy of the Region*. Moscow: Infra-M, 2021. 358 p. (In Russ.)
4. Tatarkin A. I., Mayevskiy V. I. (eds.) *Theories of the Evolution of Socio-Economic Systems*. Moscow: Economics, 2021. 486 p. (In Russ.)
5. Tatarkin A. I., Doroshenko S. V. Region as a self-developing socio-economic system. *Economy of Region*. 2021; 1: 15–23. (In Russ.)
6. Biglova G. F., Bikmetov E. Yu., Gerasimova L. A., et al. *Socialization of the economy as a factor of social development of the region*. Ufa: Institute of Socio-Economic Research of the UNC RAS, 2019. 298 p. (In Russ.)
7. Gaynanov D. A., Nizamutdinov M. M., Aitova Yu. S., et al. *Territorial settlement and structural transformation of the regional economy (conceptual foundations of analysis and modeling)*. Ufa: ISEI UFIC RAS, 2022. 184 p. (In Russ.)
8. Hussain A. Building a human economy to overcome underdevelopment: a strategy of sustained growth and economic independence. *Strategic Thought*. 2020; 1: 58–79.
9. Sergeev S. M. Socialization of the economy: main indicators and criteria within the program-targets approach. *Modern High Technologies. Regional Application*. 2022; 4 (72): 6–13. DOI: 10.60/snt.20227204.0001. (In Russ.)
10. Berendeeva A. B., Sergeev S. M. Socialization of the economy: theoretical approaches to assessing indicators and potential. *Theoretical Economics*. 2023; 1 (97): 13–28. DOI: 10.52957/22213260_2023_1_13. (In Russ.)
11. Meshkova N. L., Korshik L. V. Socialization of the economy as a priority factor in the development of society. *Economics: Theory and Practice*. 2023; 2 (70): 72–76. DOI: 10.31429/2224042X_2023_70_72. (In Russ.)
12. Cherednichenko L. G., Gubarev R. V., Dzyuba E. I., Fayzullin F. S. Ways of enhancing the efficiency of public governance in Russia in the context of social state development. *Russian Journal of Economic Theory*. 2020; 17 (3): 530–545. DOI: 10.31063/2073-6517/2020.17-3.2. (In Russ.)
13. Fayzullin F. S., Fayzullin I. F. Socialization of the economy as a factor in reducing gaps in the quality of life. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*. 2022; 1: 46–60. DOI: 10.15593/2224-9354/2022.1.4. (In Russ.)
14. Akhmetov V. Ya., Sadykov R. M. Modification of labor capital and staffing of rural areas in the context of digitalization of the economy. *AIC: Economics, Management*. 2022; 6: 98–106. DOI: 10.33305/226-98. (In Russ.)
15. Yeleskin S. E., Kuvakova I. M. Innovative economy and humanization of social and labor relations: problems and courses of development. *Labour and Social Relations Journal*. 2022; 33 (5): 124–136. DOI: 10.20410/2073-7815-2022-33-5-124-136. (In Russ.)
16. Başı E., Başı S., Gherby T. Money Growth and Social Stability. *Central European Review of Economics and Management*. 2021; 5 (4): 96–115. DOI: 10.29015/cerem.931.
17. Hajdu O. A New Generalized Variance Approach for Measuring Multidimensional Inequality and Poverty. *Social Indicators Research*. 2021; 158: 839–861. DOI: 10.1007/s11205-021-02720-9.
18. Bocharov V. Yu. Labor relations differentiation in a modern high-tech enterprise (a case-study). *Sotsiologicheskie Issledovaniya*. 2024; 5: 54–65. DOI: 10.31857/S0132162524050042. (In Russ.)
19. Svinukhova Yu. N. The system of moral encouragement of personnel as the mechanism for improving labor efficiency and mitigating conflict manifestations in the sphere of social and labor relations (on the example of companies of the Republic of Bashkortostan). *Conflict Studies*. 2021; 4: 35–43. DOI: 10.7256/2454-0617.2021.4.37045. (In Russ.)
20. Titarenko L. G., Karapetyan R. V. Changing values of work (based on the materials from Russian and foreign publications). *Sotsiologicheskie Issledovaniya*. 2024; 7: 61–72. DOI: 10.31857/S0132162524070077. (In Russ.)
21. Sadykov R. M. Qualifying human capital in the context of socialization of the economic system of the area. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2021; 11: 2071–2085. DOI: 10.24891/re.19.11.2071. (In Russ.)
22. Akhmetov V. Y., Galikeev R. N., Sadikov R. M., Bolshakova N. L., Ispulova S. N. Qualitative update of the characteristics of labor in the context of digitalization of the economy of the region. In: A. V. Bogoviz,

E. G. Popkova, et al. *Digital Technologies and Institution for Sustainable Development*. Cham, Switzerland: Springer, 2022. Pp. 29–33. DOI: 10.1007/978-3-031-04289-8_5.

23. Stroeve P. V., Nizamutdinov M. M., Oreshnikov V. V. Methodological approach to comprehensive assessment of living standards in Russian regions. *Russian Journal of Regional Studies*. 2024; 32 (1): 71–89. DOI: 10.15507/2413-1407.126.032.202401.071-089. (In Russ.)

24. Butkalyuk V. A. Social consequences of the transformations in the world of work in the context of the economic globalization. *Sotsiologicheskie Issledovaniya*. 2021; 1: 121–131. DOI: 10.31857/S013216250010719-3. (In Russ.)

25. Varavallo G., Scarpetti G., Barbera F. The moral economy of the great resignation. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2023; 10: 587. DOI: 10.1057/s41599-023-02087-x.

26. Mirolubova T., Voroncikhina E. Assessment of the digital transformation impact on regional sustainable development: The case study in Russia. *International Journal of Sustainable Economy*. 2022; 14 (1): 24–54. DOI: 10.1504/ijse.2022.10042954.

27. Novikova N. V., Strogonova E. V. Regional aspects of studying the digital economy in the system of economic growth drivers. *Journal of New Economy*. 2020; 21 (2): 76–93. DOI: 10.29141/2658-5081-2020-21-2-5.

28. Celikates R., Honneth A., Jaeggi R. The Working Sovereign: a conversation with Axel Honneth. *Journal of Classical Sociology*. 2023; 23 (3): 318–338. DOI: 10.1177/1468795X231170980.

29. Aroles J., Bonneau C., Bhankaraull S. Conceptualising ‘Meta-Work’ in the context of continuous, global mobility: the case of digital nomadism. *Work, Employment and Society*. 2023; 37 (5): 1261–1278. DOI: 10.1177/09500170211069797.

30. Ivanov D. V. New approach to assessment of social development. *Sotsiologicheskie Issledovaniya*. 2021; 1: 50–62. DOI: 10.31857/S013216250010462-1. (In Russ.)

31. Aslayeva S. S. Spatial development of agriculture in the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1714–1724. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724. (In Russ.)

32. Bikmetov E. Yu., Egoryshev S. V., Imaeva L. M., et al. *Priority trajectories of social development of the region in the context of socialization of the economic system*. Ufa: Institute of Socio-Economic Research of the UNC RAS, 2020. 224 p. (In Russ.)

33. Bikmetov E. Yu., Ishmuratova D. F., Ivanov P. A., et al. *Priorities and factors of labor capital modification in the context of the socialization of the economic system of the region*. Ufa: Institute of Socio-Economic Research of the UNC RAS, 2021. 190 p. (In Russ.)

34. He Y., Wu J., Zhou G., Zhou B. Discussion on rural sustainability and rural sustainability science. *Acta Geographica Sinica*. 2020; 75 (4): 736–752. DOI: 10.11821/dlx202004006.

35. Sadykov R. M., Akhmetov V. Ya. Threats and risks of social development of rural areas in the context of digital transformation of the economy. *AIC: Economics, Management*. 2024; 6: 90–99. DOI: 10.33305/246-90. (In Russ.)

Authors' information:

Ramil M. Sadykov, candidate of sociological sciences, associate professor, senior researcher, Institute of Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-1843-4857, AuthorID 427272. E-mail: SadykovRM@mail.ru

Vilyur Ya. Akhmetov, candidate of economic sciences, associate professor, senior researcher, Institute of Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0003-0575-0903, AuthorID 264862. E-mail: willi76@mail.ru

Tagir R. Akhmetov, candidate of economic sciences, senior researcher, Institute of Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-3857-6174, AuthorID 264891. E-mail: docant73@mail.ru

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

В. С. Кухарь – кандидат экономических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

V. S. Kukhar – candidate of economic sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 30.06.2025 г. Усл. печ. л. 18,8. Авт. л. 15,4.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ
(ВАК)**
При Министерстве образования и науки



**Food and Agriculture Organization
of the United Nations**



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

