



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**Т. 24, № 09
Vol. 24, No. 09**

2024

Сведения о редакционной коллегии

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

Члены редакционной коллегии

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

Editorial board

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

Editorial Team

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

Содержание

Агротехнологии

- Р. И. Белкина, А. А. Казак, В. М. Губанова* 1116
Качество зерна новых сортов яровой пшеницы
в Северном Зауралье
- Н. Г. Лапенко, О. В. Хонина, Л. Р. Оганян* 1128
Оптимизация пастбищной нагрузки
на степные экосистемы аридной территории
Ставропольского края
- А. А. Павлов* 1138
Содержание валовых форм цинка, свинца
и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных
почвах земель сельскохозяйственного назначения
- С. С. Полякова, Д. С. Фомин, Н. Н. Яркова,
Дм. С. Фомин* 1147
Значение предшественников и минерального
питания в формировании урожайности
и качества ярового ячменя в Пермском крае

Биология и биотехнологии

- П. С. Богатова, Г. А. Лиходеевский,
О. Е. Лиходеевская* 1158
Взаимосвязь геномного и расчетного инбридинга
в популяции крупного рогатого скота
голландской породы Свердловской области
- П. В. Бурков, П. Н. Щербakov, М. А. Дерхо,
М. Б. Ребезов, А. О. Дерхо* 1172
Некоторые особенности токсикологических
свойств специфического иммунобиостимулятора
«Трансфер-фактор» в доклинических испытаниях
- Н. В. Коник, Е. Р. Гостева, И. Р. Тлецерук,
О. А. Краснова, З. В. Псхатиева* 1193
Состояние породных ресурсов крупного рогатого
скота в генофондных хозяйствах России
- Т. В. Маракеева, В. В. Христич, С. А. Зайцев* 1203
Сравнительная оценка кормовой продуктивности
чины посевной в различных эколого-
географических условиях
- А. С. Федотова, Е. Г. Турицына* 1214
Влияние малых доз ионизирующего излучения
при облучении *in vitro* на показатели крови

Экономика

- Н. В. Мурашова, О. Ю. Маримакова* 1225
Оценка обеспеченности человеческим капиталом
аграрного сектора экономики
- В. В. Сулимин, В. В. Шведов, Н. П. Ларионова* 1239
Современные подходы к управлению устойчивым
развитием сельскохозяйственных предприятий
в условиях глобализации

Contents

Agrotechnologies

- R. I. Belkina, A. A. Kazak, V. M. Gubanova* 1116
Grain quality of new varieties of spring wheat
in the Northern Trans-Urals
- N. G. Lapenko, O. V. Khonina, L. R. Oganyan* 1128
Optimization of the pasture load
on the steppe ecosystems of the arid territory
of the Stavropol Territory
- A. A. Pavlov* 1138
Content of gross forms of zinc,
lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils
of agricultural lands
- S. S. Polyakova, D. S. Fomin, N. N. Yarkova,
Dm. S. Fomin* 1147
The importance of previous crops and mineral
nutrition in the formation of yield and quality
of spring barley in the Perm region

Biology and biotechnologies

- P. S. Bogatova, G. A. Likhodeevskiy,
O. E. Likhodeevskaya* 1158
The relationship between genomic
and estimated inbreeding in the population
of Holstein cattle in Sverdlovsk region
- P. V. Burkov, P. N. Shcherbakov, M. A. Derkho,
M. B. Rebezov, A. O. Derkho* 1172
Some features of toxicological properties
of a specific immunobiostimulator "Transfer factor"
in preclinical trials
- N. V. Konik, E. R. Gosteva, I. R. Tletsruk,
O. A. Krasnova, Z. V. Pskhatsieva* 1193
The state of cattle breed resources
in Russian gene pool farms
- T. V. Marakaeva, V. V. Khristich, S. A. Zaytsev* 1203
Comparative assessment of the feed productivity
of the sowing rank in various ecological
and geographical conditions
- A. S. Fedotova, E. G. Turitsyna* 1214
Influence of low doses of ionizing radiation during
in vitro irradiation on blood parameters

Economy

- N. V. Murashova, O. Yu. Marimakova* 1225
Assessment of human capital provision
in the agricultural sector of the economy
- V. V. Sulimin, V. V. Shvedov, N. P. Larionova* 1239
Modern approaches to managing the sustainable
development of agricultural enterprises
in the context of globalization

Качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Северном Зауралье

Р. И. Белкина, А. А. Казак[✉], В. М. Губанова

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: kazakaa@gausz.ru

Аннотация. Получение высококачественного продовольственного зерна пшеницы в большой степени зависит от потенциала качества возделываемых сортов и условий, обеспечивающих его реализацию. Исследованиями выявлены устойчивые по качеству сорта и факторы, обеспечивающие оптимальное сочетание урожайности и качества зерна. **Цель исследований** – рассмотреть возможности новых сортов яровой пшеницы по формированию технологических свойств зерна в условиях северной лесостепи Тюменской области. **Методы.** Исследования проведены в 2021 и 2022 гг. в зоне северной лесостепи Тюменской области на Ишимском государственном сортоучастке. Почва – чернозем выщелоченный. Предшественник в опыте – чистый пар. Оценка технологических свойств зерна сортов пшеницы проведена Западно-Сибирским межрегиональным центром по комплексной оценке качества испытываемых сортов (г. Барнаул). За основные критерии оценки сортов пшеницы взяты содержание клейковины в муке, сила муки по альвеографу и разжижение теста по фаринографу, эти показатели в местных условиях часто бывают лимитирующими при оценке сортов по хлебопекарной силе. По **результатам** исследований установлено, что показатель «содержание клейковины в муке» у изучаемых сортов значительно зависел от метеорологических условий. Например, в условиях 2022 г., в большей степени обеспеченном влагой и в меньшей степени – теплом, в сравнении с 2021 г. у преобладающей части сортов (80 %) количество клейковины в муке было ниже нормативов на пшеницу-филлер. Вместе с тем некоторые сорта отличались высоким содержанием клейковины: Тюменская 25, Агрономическая 5, Баганочка, Дорада, Тюменская 29, Варден. По силе муки, определяемой на альвеографе, выделились сорта Баганочка, Ишимская 12 и Лента 45 – их показатели были на уровне требований к сильной пшенице. По показателю «разжижение теста» значительная часть сортов соответствовала классу «пшеница-филлер». На уровне сильной пшеницы находились показатели у сортов Ишимская 12, Загора Новосибирская, Ница. **Научная новизна:** В условиях северной лесостепи Тюменской области получены новые научные сведения по формированию новыми сортами яровой мягкой пшеницы государственного испытания технологических показателей, характеризующих хлебопекарную силу муки. Наиболее высоким содержанием клейковины в муке 70-процентного выхода отличались сорта Агрономическая 5, Дорада, Варден. Высокими показателями физических свойств теста на альвеографе характеризовались сорта Баганочка, Ишимская 12, Лента; на фаринографе – Ишимская 12, Загора Новосибирская, Ница.

Ключевые слова: яровая пшеница, сорта, клейковина в муке, сила муки, разжижение теста, качество зерна, Северное Зауралье, технологические свойства пшеницы

Благодарности. Выражаем благодарность специалисту филиала ФГБУ «Госсорткомиссия» по Тюменской области, городу Тюмени Марине Сергеевне Брониной за предоставленные данные для анализа.

Для цитирования: Белкина Р. И., Казак А. А., Губанова В. М. Качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Северном Зауралье // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1116–1127. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1116-1127>.

Дата поступления статьи: 17.01.2024, **дата рецензирования:** 14.05.2024, **дата принятия:** 13.06.2024.

Grain quality of new varieties of spring wheat in the Northern Trans-Urals

R. I. Belkina, A. A. Kazak✉, V. M. Gubanova

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

✉E-mail: kazakaa@gausz.ru

Abstract. The production of high-quality food wheat grains depends to a large extent on the quality potential of the cultivated varieties and the conditions that ensure its implementation. Studies have identified quality-resistant varieties and factors that ensure an optimal combination of yield and grain quality. **The purpose** of the research is to consider the possibilities of new varieties of spring wheat to form the technological properties of grain in the northern forest-steppe of the Tyumen region. **Methods.** Studies were carried out in 2021 and 2022 in the northern forest-steppe zone of the Tyumen region at the Ishim state section. The soil is leached chernozem. The predecessor in the experience is pure steam. The technological properties of wheat grain were assessed by the West Siberian Interregional Center for Comprehensive Quality Assessment of the Tested Varieties (Barnaul). The main criteria for assessing wheat varieties are taken as the gluten content in flour, the strength of flour according to the alveograph and the liquefaction of the test according to the farinograph, these indicators in local conditions are often limiting when assessing varieties according to bakery strength. According to the **results** of studies, it was established that the indicator “gluten content in flour” in the studied varieties significantly depended on meteorological conditions. For example, in 2022, with a higher degree of moisture and a lower degree of heat compared to 2021, in the predominant part of the varieties (80 %), the amount of gluten in the flour was lower than the standards for wheat filler. At the same time, the following varieties showed high opportunities to provide flour with the amount of gluten: Tyumenskaya 25, Agronomicheskaya 5, Baganochka, Dorada, Tyumenskaya 29, Varden. Varieties stood out – their indicators were at the level of requirements for strong wheat: Baganochka, Ishimskaya 12 and Lenta 45. In terms of “dough liquefaction”, a significant part of the varieties corresponded to the class “wheat-filler”. At the level of strong wheat were indicators in the varieties Ishimskaya 12, Zagora Novosibirsk, Nitsa. **Scientific novelty.** In the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region, new scientific information has been obtained on the formation by new varieties of spring soft wheat of the state test of technological indicators characterizing the baking power of flour. The highest gluten content in flour of 70% yield was distinguished by the varieties Agronomic 5, Dorada, Varden, Baganochka, Ishimskaya 12, and Lenta varieties were characterized by high indicators of the physical properties of the test on the alveograph; Ishimskaya 12 on the farinograph, Zagora Novosibirsk, Nice.

Keywords: spring wheat, varieties, gluten in flour, flour strength, dough liquefaction, grain quality, Northern Trans-Urals, technological properties of wheat

Acknowledgements. We would like to express our gratitude to Marina Sergeevna Bronina, a specialist at the branch of the Federal State Budgetary Institution “Gossortkomissiya” for the Tyumen region, the city of Tyumen, for providing the data for analysis.

For citation: Belkina R. I., Kazak A. A., Gubanova V. M. Grain quality of new varieties of spring wheat in the Northern Trans-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1116–1127. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1116-1127>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.01.2024, **date of review:** 14.05.2024, **date of acceptance:** 13.06.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Пшеница – главная продовольственная культура многих стран мира. Качество зерна пшеницы в большой степени обусловлено потенциалом возделываемых сортов и условиями, способствующими его реализации.

Во многих регионах России и ближнего зарубежья исследованиями выявлены устойчивые по качеству сорта и факторы, обеспечивающие оптимальное сочетание урожайности и качества зерна. Так, рассмотрены возможности сортов пшеницы по

формированию урожайности и качества зерна в условиях черноземных почв Предволжской зоны Республики Татарстан: при достаточно высокой урожайности (3,57–4,6 т/га) содержание белка в зерне сортов пшеницы Йолдыз, Бурлак и Экада достигало 14,2–15,0 %, клейковины – 26,1–28,6 % [1]. В условиях Татарстана для районированного сорта Йолдыз оптимизированы такие элементы технологии, как нормы удобрений (из расчета 3 т зерна с 1 га), сроки посева (оптимально – ранний) и глубина заделки семян (не глубже 4 см) [2].

М. У. Утебаевым исследовано качество зерна сортов пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья в условиях Северного Казахстана. Установлено, что эти сорта в данном регионе формируют высококачественное зерно, чем и обосновывается возможность использования их в качестве источников высокого качества при создании новых сортов пшеницы для засушливой степи Северного Казахстана [3]. В результате исследований выделены сорта, стабильно формировавшие качественное зерно и высокие показатели оценки хлеба: Асыл-Сапа, Орал, Шортандинская 2007, Карабалыкская 90, Шортандинская улучшенная, Омская 18, Карагандинская 22 [4].

В условиях юга Западной Сибири (Омская область) изучены новые сорта сильной пшеницы в сравнении с иностранными сортами. Для оценки технологических и хлебопекарных качеств использованы классификационные нормы Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных растений. В результате исследований установлено преимущество над стандартами по отдельным показателям качества следующих сортов: Тарская 12, Омская 44, Омская 42. Новые сорта пшеницы в сравнении с сортами иностранной селекции отличались более высокими показателями содержания белка в зерне и силы муки [5].

Очень важно, что возможности реализации потенциала продуктивности и качества зерна учитываются при создании новых сортов. Например, для нового высококачественного сорта озимой пшеницы Ставропольская 7 рекомендованы конкретные зоны возделывания, а также применение интенсивных и среднеинтенсивных технологий [6]. Отмечается, что использование новых высокопродуктивных сортов, возделывание их после лучших предшественников в агроклиматических зонах, определяемых на основе биологических особенностей сортов, обеспечит устойчивое повышение продуктивности и валовых сборов зерна высокого качества [7].

В подтверждение того, что высокое качество зерна сортов пшеницы обеспечивается комплексом эффективных элементов технологии, приведены результаты, полученные в условиях лесостепной зоны Омской области в длительном стационарном пятипольном зернопаровом севообороте [8]. Были изучены следующие элементы технологии: способ обработки почвы, средства комплексной химизации и предшественник. Установлено, что длительное использование в севообороте нулевой обработки почвы вызвало уменьшение содержания нитратного азота до 30 % и увеличение засоренности посевов, в результате урожайность пшеницы снизилась на 7–13 %. Значительно сократилась урожайность при повторных посевах, а также более чем на 3 % уменьшалось содержание клейковины в зерне.

Комплекс средств защиты растений и удобрений способствовал увеличению урожайности пшеницы в 1,9–2,3 раза и улучшению качества зерна. В результате изучения изменчивости показателей установлено, что значительно варьировали по годам масса 1000 зерен, стекловидность и урожайность, незначительно – натура зерна. Вариабельность показателей качества зерна увеличивалась в 1,3 раза по мере удаления посевов от пара. Установлено, что доля влияния на формирование урожайности и качества зерна самая высокая у средств химизации – 31,2 %, у предшественника и системы обработки почвы доля влияния составила 22,7 и 10 % соответственно.

Известно, что отрицательно влияют на качество зерна поражение растений пшеницы болезнями. В связи с этим большое значение придается возделыванию устойчивых к заболеваниям сортов. По сведениям Н. А. Боме [9], устойчивые к мучнистой росе сорта пшеницы отличались высоким содержанием белка и клейковины.

В. П. Нецветаев считает, что изменения погодно-климатических условий приводят к увеличению встречаемости аномальных факторов внешней среды в период вегетации. В связи с этим рекомендовано оценку реакции создаваемых сортов на экстремальные факторы окружающей среды считать важнейшей составляющей при создании новых, перспективных сортов озимой мягкой пшеницы. Отмечено, что повышенные температуры воздуха, наблюдавшиеся в последние годы, не способствовали увеличению адаптивности сортов южного происхождения к условиям Белгородской области. Выявлены различия во влиянии теплового стресса на зерновую продуктивность и формирование массы зерновки различных сортов пшеницы [10; 11].

По сведениям А. П. Солодовникова [12], в условиях Нижнего Поволжья наибольшее влияние на урожайность озимой пшеницы оказывали влажность почвы в фазу кущения и перед посевом, а также осадки за апрель – июнь. Содержание клейковины и белка в зерне характеризовалось высокой отрицательной взаимосвязью с влажностью почвы перед посевом и суммой осадков в период вегетации.

Исследованиями в условиях Омской области установлено, что существенное влияние на формирование белка в зерне сортов яровой мягкой пшеницы оказывают метеорологические факторы в периоды посева и формирования вегетативных органов растений. В результате изучения взаимосвязей между показателями массовой доли белка, массы 1000 зерен, урожайности и сбора белка с единицы площади установлено, что селекция на высокую массу 1000 зерен может быть перспективной как для увеличения урожайности зерна, так и его белковости. Отмечено, что сорт пшеницы Омская

38 способен обеспечить получение высокого сбора белка с единицы площади [13].

В источниках литературы рассматриваются генетические подходы для изучения наследования количественных признаков – отдельных показателей технологических свойств зерна и муки. Использование межсортового замещения хромосом позволило выявить хромосомы, которые несут гены, ответственные за важные для хлебопекарных свойств технологические параметры. Достижения современной генетики совместно с используемыми селекционными методами обеспечивают создание сортов пшеницы, хлебопекарное качество которых удовлетворяет запросы пищевой промышленности. По мнению Т. А. Пшеничниковой [14], разнообразие по хлебопекарным свойствам сортов пшеницы может быть достигнуто генетическими методами, в том числе и для сложных количественных признаков, к которым относятся технологические свойства зерна и муки. Автор отмечает, что «сильный сорт в полном смысле может быть продуктом высоких генетических технологий, который востребован на международном рынке зерна». Кроме того, сорта сильной пшеницы дают возможность обеспечения хлебопекарной отрасли высококачественным сырьем для производства хлеба, что соответствует целям продовольственной безопасности и задачам по повышению качества питания населения. В нашей стране на генетической основе трех яровых сортов впервые получен набор супермягкозерных линий со специальными свойствами зерна и муки. В перспективе предполагается использовать их в пищевых и технических целях [15].

В исследованиях Г. В. Тоболовой, проведенных в ГАУ Северного Зауралья, представлены результаты анализа генетических систем, отвечающих за формирование качества зерна пшеницы. Показано влияние аллельного состава высокомолекулярных глютенинов (HMW), низкомолекулярных глютенинов (LMW) и глиадинов на технологические качества муки, физические свойства теста сортов, выращенных в различных природно-климатических условиях. По результатам исследований, наличие аллеля *a* локуса Gli-A1 и аллеля *b* локуса Gli-B1 указывает на высокие технологические показатели зерна и физические свойства теста [16; 17].

К актуальным направлениям селекции растений относится маркер-контролируемое создание сортов с повышенным содержанием растительных соединений, обладающих антиоксидантным действием [18]. Исследователями Кемеровского технологического института пищевой промышленности выявлены значительные отличия продуктов, полученных из двух линий пшеницы, различающихся по содержанию антоцианов [19]. Отмечены различия как в продуктах, подвергшихся минимальной обработке (отруби), так и в готовых хлебных изделиях.

Продукты из фиолетового зерна отличались более высокими показателями, чем из зерна контрольной линии. Выявлено также, что наличие антоцианов увеличивало срок хранения продукции.

В условиях Северного Зауралья показано, что сырьевые свойства зерна пшеницы (в частности, содержание и качество клейковины) во многом связаны с влиянием сорта, условий года выращивания, удобрений, обработки семян и растений регуляторами роста и фунгицидами. При оценке качества зерна новых сортов пшеницы отмечен высокий уровень числа падения (выше 200 с). Наблюдалась тенденция увеличения числа падения у сортов среднепоздней группы в сравнении с сортами ранней и среднеспелой групп. Методом ранжирования по качеству зерна выделены сорта государственного испытания с высокими показателями и сорта, соответствующие нормативам государственного стандарта. Сортам пшеницы, возделываемым в Тюменской области, дана классификация с учетом целевого назначения зерна [20–23].

В этом же регионе обоснован выбор предшественников для районированных сортов яровой пшеницы [24]. В группу лучших вошли однолетние травы и кукуруза, по которым получена урожайность 2,5–3,0 т/га, содержание белка в зерне 14–16 %, рентабельность 124–176 %. Допускается возможность использования ярового рапса как предшественника для семенных посевов пшеницы. В варианте с яровой пшеницей в качестве предшественника у изучаемых сортов резко снижались урожайность и показатели качества семян.

Приведены результаты изучения сортов яровой пшеницы сибирской селекции в лесостепной зоне Тюменской области [25]. По комплексу хозяйственных признаков выделились реестровые сорта Ирень и Новосибирская 31, что обосновывает целесообразность значительного увеличения площадей посева этих сортов в области.

Изучена отзывчивость новых сортов яровой пшеницы селекции ГАУ Северного Зауралья на возрастающие нормы минеральных удобрений [26]. Установлено, что сорт Тюменочка сильнее реагировал на повышение уровня минерального питания по сравнению с сортом Тюменская юбилейная. Расчетная норма NPK на урожайность 5 т/га была наиболее экономически эффективной.

Цель исследований – рассмотреть возможности новых сортов яровой пшеницы по формированию технологических свойств зерна в условиях северной лесостепи Тюменской области.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в зоне северной лесостепи Тюменской области на Ишимском государственном сортоучастке. Почва – чернозем выщелоченный. Предшественник в опыте – чистый пар. Оценка технологических свойств зерна сортов

пшеницы проведена Западно-Сибирским межрегиональным центром по комплексной оценке качества испытываемых сортов (г. Барнаул). За основные критерии оценки сортов пшеницы взяты содержание клейковины в муке, сила муки по альвеографу и разжижение теста по фаринографу. Эти показатели в местных условиях часто бывают лимитирующими при оценке сортов по хлебопекарной силе.

Метеорологические условия в период роста и развития сортов пшеницы в годы исследований значительно различались. В 2021 году среднесуточная температура воздуха в среднем за май – август составила 18 °С, в 2022 году – ниже на 1,5 °С; сумма осадков за эти месяцы в 2022 году достигала 176 мм, это на 51 мм больше, чем в 2021 году; сумма эффективных температур на конец августа в 2021 году была выше, чем в 2022 году на этот период, на 137 °С. Таким образом, условия вегетационного периода 2021 года характеризовались повышенной температурой воздуха и меньшим количеством осадков в сравнении с 2022 годом.

Результаты (Results)

По содержанию клейковины значительная часть сортов пшеницы урожая 2021 года (48 %) соответствовала нормативам на ценную пшеницу (таблица 1). Показатель стандарта Тюменская 25 составил 33,5 %, превысили этот уровень Агрономическая 5 (35,4 %) и Баганочка (35,6 %). К слабой пшенице по этому признаку отнесены сорта Тингер (26,3 %), Бейская (25,3 %), Памяти Сусякова (26,1 %), Силантий (25,3 %).

Метеорологические условия 2022 года отрицательно повлияли на формирование клейковины у

сортов пшеницы. Большая часть их (80 %) вошла в группу слабой пшеницы (таблица 2). Здесь они распределены следующим образом: на уровне 25 % и более показатель у сортов Зауральский простор, Капитол, Л 111; на уровне 23–24 % – у сортов Баганочка, Костанай, Ница, Тингер, Спикер, Ялуторовка, КВС Аквилон, Блеск, Курьер; показатель менее 23 % – у сортов Кулич, Экада, Эскадра, Ишимская 12, Лента 45. Показатель стандарта Тюменская 25 составил 27,4 %, превысили этот уровень сорта Загора Новосибирская (30,5 %) и Варден (33,0 %).

Таким образом, высоким содержанием клейковины в муке отличались сорта Тюменская 25, Агрономическая 5, Баганочка, Дорада, Тюменская 29, Варден. Необходимо отметить также, что в условиях 2022 года даже при использовании пара как лучшего предшественника у большей части сортов (80 %) количество клейковины в муке было ниже нормативов на пшеницу-филлер. Это значит, что такая мука требует добавления муки сильной пшеницы для получения хлеба стандартного качества.

Сила муки, или энергия деформации теста, при оценке на альвеографе считается одним из важнейших признаков в характеристике сортов пшеницы по хлебопекарной силе. Как показывают данные таблицы 3, большинство сортов, выращенных в 2021 году (63 %), по данному признаку соответствовало нормативу только на слабую пшеницу, то есть сорта имели показатель менее 180 ед. Вместе с тем следует выделить сорта с высокими показателями, входящие в группу сильной пшеницы: Одинцовская – 430 ед., Ишимская 212 – 383 ед., Баганочка – 318 ед., Л 161 – 309 ед., Омская 45 – 301 ед.

Таблица 1

Распределение сортов пшеницы по содержанию клейковины в муке 70-процентного выхода, Ишимский ГСУ, 2021 год

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не менее 32 %	Тюменская 25, Агрономическая 5, Баганочка, Дорада, Тюменская 29
Ценная пшеница, не менее 29 %	Ворожея, Ишимская 12, Лента 45, Нива 55, Одинцовская, Спикер, Ялуторовка, Икар 2, Л 161, Омская 45, Омская крепость, Мелодия, Экада 258
Пшеница-филлер, не менее 27 %	Атланта 2, Л 11343, Ульгения, Челябинка, Никон
Слабая пшеница, не менее 20%	Тингер, Бейская, Памяти Сусякова, Силантий

Table 1

Distribution of wheat varieties by gluten content in flour of 70 % yield, Ishim state variety testing area, 2021

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, at least 32 %	Tyumenskaya 25, Agronomicheskaya 5, Baganochka, Dorada, Tyumenskaya 29
Valuable wheat, at least 29 %	Vorozheya, Ishimskaya 12, Lenta 45, Niva 55, Odintsovskaya, Spiker, Yalutorovka, Ikar 2, L 161, Omskaya 45, Omskaya krepost', Melodiya, Ekada 258
Wheat filler, at least 27%	Atlanta 2, L 11343, Ul'genya, Chelyabinka, Nikon
Weak wheat, at least 20 %	Tinger, Beyskaya, Pamyati Suslyakova, Silantiy

Таблица 2
Распределение сортов пшеницы по содержанию клейковины в муке 70-процентного выхода, Ишимский ГСУ, 2022 год

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не менее 32 %	Варден
Ценная пшеница, не менее 29 %	Загора Новосибирская
Пшеница-филлер, не менее 27 %	Тюменская 25, Китри
Слабая пшеница, не менее 20 %	Зауральский простор, Капитол, Л 111, Баганочка, Костанай, Ница, Тингер, Спикер, Ялуторовка, КВС Аквилон, Блеск, Курьер, Кулич, Экада, Эскадра, Ишимская 12, Лента 45, Итака

Table 2
Distribution of wheat varieties by gluten content in 70 % yield flour, Ishim state variety testing area, 2022

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, at least, 32 %	Varden
Valuable wheat, at least 29 %	Zagora Novosibirskaya
Wheat filler; at least 27 %	Tyumenskaya 25, Kitri
Weak wheat, at least 20 %	Zaural'skiy prostor, Kapitol, L 111, Baganochka, Kostanay, Nitsa, Tinger, Spiker, Yalutorovka, KVS Akvilon, Blesk, Kur'yer, Kulich, Ekada, Eskadra, Ishimskaya 12, Lenta 45, Itaka

Таблица 3
Распределение сортов пшеницы по силе муки при оценке на альвеографе, Ишимский ГСУ, 2021 год

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не менее 280 ед.	Баганочка, Ишимская 12, Лента 45, Одинцовская, Л 161, Омская 45, Омская крепость
Ценная пшеница, не менее 260 ед.	–
Пшеница-филлер, не менее 240 ед.	Ульгения, Челябинка, Мелодия
Слабая пшеница, менее 180 ед.	Агрономическая 5, Ворожея, Дорада, Нива 55, Спикер, Тингер, Ялуторовка, Тюменская 25, Тюменская 29, Атланта 2, Бейская, Икар 2, Л 11343, Никон, Памяти Суслыкова, Силантий, Экада 258

Table 3
Distribution of wheat varieties by flour strength when evaluated on an alveograph, Ishim state variety testing area, 2021

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, at least 280 units	Baganochka, Ishimskaya 12, Lenta 45, Odintsovskaya, L 161, Omskaya 45, Omskaya krepost'
Valuable wheat, at least 260 units	–
Wheat filler; at least 240 units	Ul'genya, Chelyabinka, Melodiya
Weak wheat, less than 180 units	Agronomicheskaya 5, Vorozheya, Dorada, Niva 55, Spiker, Tinger, Yalutorovka, Tyumenskaya 25, Tyumenskaya 29, Atlanta 2, Beyskaya, Ikar 2, L 11343, Nikon, Pamyati Suslyakova, Silantiy, Ekada 258

Таблица 4

Распределение сортов пшеницы по силе муки при оценке на альвеографе, Ишимский ГСУ, 2022 г.

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не менее 280 ед.	Баганочка, Загора Новосибирская, Ишимская 12, Лента 45, Капитол
Ценная пшеница, не менее 260 ед.	Итака
Пшеница-филлер, не менее 240 ед.	Курьер, Экада
Слабая пшеница, менее 180 ед.	Тюменская 25, Ница, Тингер, Варден, Китри, Костанай Зауральский простор, Спикер, Ялуторовка, КВС Аквилон, Блеск, Кулич, Эскадра, Л 111

Table 4

Distribution of wheat varieties by flour strength when evaluated on an alveograph, Ishim state variety testing area, 2022

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, at least 280 units	Baganochka, Zagora Novosibirskaya, Ishimskaya 12, Lenta 45, Kapital
Valuable wheat, at least 260 units	Itaka
Wheat filler, at least 240 units	Kur'yev, Ekada
Weak wheat, less than 180 units	Tyumenskaya 25, Nitsa, Tinger, Varden, Kitri, Kostanay, Zaural'skiy prostor, Spiker, Yalutorovka, KVS Akvilon, Blesk, Kulich, Eskadra, L 111

Таблица 5

Распределение сортов пшеницы по разжижению теста при оценке на фаринографе, Ишимский ГСУ, 2021 год

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не более 60 е. ф.	Ишимская 12
Ценная пшеница, не более 80 е. ф.	Лента 45, Одинцовская, Силантий
Пшеница-филлер, не более 120 е. ф.	Тюменская 25, Баганочка, Ворожея, Дорада, Нива 55, Ялуторовка, Тюменская 29, Атланта 2, Икар 2, Л 161, Омская 45, Омская крепость, Ульгения, Челябинка, Мелодия, Никон, Экада 258
Слабая пшеница, более 150 е. ф.	Агрономическая 5, Спикер, Тингер, Бейская, Л 11343, Памяти Сусякова

Table 5

Distribution of wheat varieties by test liquefaction when evaluated at the farinograph, Ishim state variety testing area, 2021

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, no more than 60 farinograph units	Ishimskaya 12
Valuable wheat, no more than 80 farinograph units	Lenta 45, Odintsovskaya, Silantiy
Wheat filler, not more than 120 farinograph units	Tyumenskaya 25, Baganochka, Vorozheya, Dorada, Niva 55, Yalutorovka, Tyumenskaya 29, Atlanta 2, Ikar 2, L 161, Omskaya 45, Omskaya krepost', Ul'genya, Chelyabinka, Melodiya, Nikon, Ekada 258
Weak wheat, more than 150 farinograph units	Agronomicheskaya 5, Spiker, Tinger, Beyskaya, L 11343, Pamyati Suslyakova

В условиях 2022 года наиболее высокими показателями силы муки характеризовались сорта Загора Новосибирская (462 ед.), Ишимская 12 (327 ед.), Баганочка (296 ед.), Капитол (294 ед.), Лента 45 (287 ед.) (таблица 4). Большая часть сортов (64 %) имела показатели ниже 240 ед., что позволяло отнести их к группе слабой пшеницы. Тем не менее следует выделить те сорта, значения силы муки у которых более близки к нормативу на пшеницу-филлер: Тингер (222 ед.), Костанай (217 ед.), Тюменская 25 (205 ед.), Китри (198 ед.), Варден (186 ед.).

Таким образом, показатель альвеографа – сила муки (энергия деформации теста) является ограничивающим в характеристике изучаемых сортов по хлебопекарной силе, так как большинство из них (более 60 %) имело показатели ниже требований к пшенице-филлеру. Следует отметить только некоторые сорта – их показатели в оба года исследований были на уровне требований к сильной пшенице: Баганочка, Ишимская 12 и Лента 45. В 2021 году этому уровню также соответствовали сорта Одинцовская, Л 161, Омская 45, Омская крепость, в 2022 году – Загора Новосибирская и Капитол.

Показатель разжижения теста, определяемый на фаринографе, обусловлен прочностью структуры белковых молекул, содержанием в муке протеоли-

тических ферментов (протеиназ) и их активностью. Если активность протеиназ повышена, то клейковина пшеничной муки теряет свою упругость и тесто в процессе механической обработки сильно разжижается. По данному показателю большинство изучаемых сортов урожая 2021 года (63 %) соответствовало нормативу на пшеницу-филлер (разжижение не более 120 е. ф.) (таблица 5). В классах сильной и ценной пшеницы находились сорта Ишимская 12 (разжижение 50 е. ф.), Лента 45 (70 е. ф.), Силангий (70 е. ф.) и Одинцовская (80 е. ф.). Из сортов, находящихся в классе слабой пшеницы, наиболее сильным разжижением теста характеризовались Тингер (200 е. ф.), Агрономическая 5 (170 е. ф.), Памяти Сулякова (160 е. ф.).

Среди сортов, выращенных в 2022 году, по показателю разжижения теста выделились Загора Новосибирская – 50 е. ф., Ишимская 12 – 50 е. ф., Ница – 60 е. ф., Тингер – 60 е. ф. (таблица 6). Следует указать на неустойчивость данного показателя у сорта Тингер (в 2021 г. сорт по этому показателю относился к слабой пшенице). Значительная часть сортов (45 %) соответствовала нормативу на пшеницу-филлер. У двух сортов отмечено сильное разжижение теста: Спикер (160 е. ф.) и Л 111 (160 е. ф.).

Таблица 6
Распределение сортов пшеницы по разжижению теста при оценке на фаринографе, Ишимский ГСУ, 2022 год

Нормативы по классам пшеницы	Сорта
Сильная пшеница, не более 60 е. ф.	Загора Новосибирская, Ница, Тингер, Ишимская 12
Ценная пшеница, не более 80 е. ф.	Тюменская 25, Баганочка, Костанай, Лента 45, Курьер, Капитол
Пшеница-филлер, не более 120 е. ф.	Зауральский простор, Ялуторовка, КВС Аквилон, Кулич, Экада, Эскадра, Китри, Блеск, Варден, Итака
Слабая пшеница, более 150 е. ф.	Спикер, Л 111

Table 6
Distribution of wheat varieties by test liquefaction when evaluated at the farinograph, Ishim state variety testing area, 2022

Standards for wheat classes	Variety
Strong wheat, no more than farinograph units	Zagora Novosibirskaya, Nitsa, Tinger, Ishimskaya 12
Valuable wheat, no more than 80 farinograph units	Tyumenskaya 25, Baganochka, Kostanay, Lenta 45, Kur'yer, Kapitol
Wheat filler; not more than 120 farinograph units	Zaural'skiy prostor, Yalutorovka, KVS Akvilon, Kulich, Ekada, Eskadra, Kitri, Blesk, Varden, Itaka
Weak wheat, more than 150 farinograph units	Spiker, L 111

Следовательно, разжижение теста по фаринографу можно считать также лимитирующим показателем при характеристике изучаемых сортов по хлебопекарной силе муки, так как значительная часть из них (в 2021 году – 63 %, в 2022 году – 45 %) находилась в классе «пшеница-филлер». Нормативу на сильную пшеницу соответствовали показатели у сортов Ишимская 12, Загора Новосибирская, Ница. Наиболее сильным разжижением теста характеризовались в 2021 году Тингер (200 е. ф.), Агрономическая 5 (170 е. ф.), Памяти Суслыкова (160 е. ф.), в 2022 году – Спикер (160 е. ф.) и Л 111 (160 е. ф.).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По результатам исследований установлено, что показатель «содержание клейковины в муке» у изучаемых сортов значительно зависел от метеорологических условий. Так, в условиях 2022 года, в большей степени обеспеченном влагой и в меньшей степени – теплом в сравнении с 2021 годом, у преобладающей части сортов (80 %) количество клейковины в муке было ниже нормативов на пшеницу-филлер. Вместе с тем некоторые сорта отличались высоким содержанием клейковины:

Тюменская 25, Агрономическая 5, Баганочка, Дограда, Тюменская 29, Варден.

Показатель альвеографа – сила муки (энергия деформации теста) – является ограничивающим в характеристике изучаемых сортов по хлебопекарной силе, так как большинство из них (более 60 %) имело показатели ниже требований к пшенице-филлеру. Следует отметить только некоторые сорта – их показатели в оба года исследований были на уровне требований к сильной пшенице: Баганочка, Ишимская 12 и Лента 45.

Разжижение теста по фаринографу можно считать также лимитирующим показателем при характеристике изучаемых сортов по хлебопекарной силе муки, так как значительная часть из них (в 2021 году – 63 %, в 2022 году – 45 %) находилось в классе «пшеница-филлер». Нормативу на сильную пшеницу соответствовали показатели у сортов Ишимская 12, Загора Новосибирская, Ница.

В условиях Северного Зауралья при подборе сортов пшеницы для производства продовольственного зерна высокого качества необходимо учитывать их возможности в формировании показателей не ниже нормативов на сильную и ценную пшеницу.

Библиографический список

1. Шайхутдинов Ф. Ш., Сержанов И. М., Сержанова А. Р., Гараев Р. И., Залялов Р. Р. Роль сорта и основных элементов технологии в формировании урожайности яровой мягкой пшеницы в условиях Предволжской зоны Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 4. С. 71–76. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-71-76.
2. Шайхутдинов Ф. Ш., Сержанов И. М., Сержанова А. Р., Гараев Р. И., Хамитова А. Р. Урожай и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от сроков посева, глубины заделки семян и фона питания в условиях северной части Среднего Поволжья // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022. № 2 (2). С. 28–32. DOI: 10.12737/2782-490X-2022-22-26.
3. Утебаев М. У., Шелаева Т. В., Боме Н. А., Чилимова И. В., Крадецкая О. О., Дашкевич С. М., Новохатин В. В., Вайсфельд Л. И. Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 27–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38.
4. Утебаев М. У., Боме Н. А., Шелаева Т. В., Крадецкая О. О., Чилимова И. В. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (38). С. 99–111.
5. Пахотина И. В., Игнатъева Е. Ю., Белан И. А., Россеева Л. П., Солдатова Л. Т. Сильные сорта – основа производства высококачественных продуктов переработки зерна мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 5. С. 39–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-39-46.
6. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Новый конкурентный сорт пшеницы мягкой озимой Ставропольская 7 // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3 (168). С. 27–33. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-27-33.
7. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Формирование урожая и качества зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественников и условий возделывания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 3 (107). С. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50.
8. Юшкевич Л. В., Пахотина И. В., Щитов А. Г. Эффективность использования агротехнологических приемов возделывания мягкой яровой пшеницы в повышении продуктивности и качества зерна в Омской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7 (172). С. 26–34. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34.
9. Боме Н. А., Колоколова Н. Н., Утебаев М. У. Экологический отбор генотипов *Triticum aestivum* L. По устойчивости к мучнистой росе и качеству зерна // Современные подходы и методы в защите растений: материалы II Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2020. С. 136–137.

10. Нецветаев В. П., Филиппова Ю. М., Козелец Я. О., Ащеулова А. П. Сорта озимой пшеницы из географически разных мест происхождения в условиях Белгородской области // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 4 (20). С. 128–135.

11. Нецветаев В. П., Акиншина О. В., Петренко А. В., Козелец Я. О., Ащеулова А. П., Филиппова Ю. М., Литвинов А. И. Масса зерна и урожайность озимой пшеницы при тепловом стрессе в полевых условиях // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 1 (37). С. 79–86.

12. Солодовников А. П., Уполовников Д. А., Линьков А. С., Полетаев И. С., Левкина А. Ю. Обоснование влияния агрофизических факторов и климатических условий на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 48–52. DOI: 10.28983/asj.u2022i4pp48-52.

13. Пахотина И. В., Игнатьева Е. Ю., Россеева Л. П., Белан И. А., Омелянюк Л. В. Особенности формирования содержания белка в зерне пшеницы мягкой яровой в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 5 (170). С. 37–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45.

14. Пшеничникова Т. А. Генетические подходы к формированию разнообразия по технологическим свойствам зерна и муки среди генофонда мягкой пшеницы России // Качество зерна, муки и хлеба: материалы докладов IV Международной конференции. Москва, 2019. С. 30–39.

15. Симонов А. В., Пшеничникова Т. А. Технологические свойства зерна и муки у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – носителей локусов Na и Na-Sp, определяющих структуру эндосперма // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 91–98. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-91-98.

16. Трайбер Р. С., Тоболова Г. В. Проламины зерна и их влияние на хлебопекарные качества пшеницы // Мир инноваций. 2022. № 1 (20). С. 22–28.

17. Тоболова Г. В., Федорук Т. К. Сопряжённость компонентного состава глиадина с качеством зерна яровой мягкой пшеницы Тюменской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 31–34.

18. Шаманин В. П., Чурсин А. С., Кузьмин О. Г. Безукладов И. В., Кошкин М. Н., Вернер А. О. Селекция на повышение технологических и пищевых свойств зерна яровой мягкой пшеницы в Омском ГАУ // Селекция и технологии производства экологически безопасной продукции растениеводства в условиях меняющегося климата: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного агронома РФ, профессора, доктора сельскохозяйственных наук Ю. П. Логинова. Тюмень, 2022. С. 21–26.

19. Гордеева Е. И., Усенко Н. И., Стабровская О. И., Шарфунова И. Б., Отмахова Ю. С., Хлесткина Е. К. Маркер-контролируемое получение и производство форм пшеницы с повышенным уровнем биофлавоноидов: оценка продукции для обоснования значимости направления // Генофонд и селекция растений: тезисы докладов III Международной конференции, посвященной 130-летию Н. И. Вавилова. Новосибирск, 2017. С. 15–16.

20. Белкина Р. И., Казак А. А., Летяго Ю. А. Проблема повышения качества зерна пшеницы в Тюменской области // Продовольственная безопасность: прошлое, настоящее, будущее: материалы круглого стола (с международным участием). В 2 частях. Луганск, 2023. С. 34–39.

21. Белкина Р. И. Сырьевые свойства зерна пшеницы Тюменской области // Агропродовольственная политика России. 2023. № 4 (107). С. 15–19. DOI: 10.35524/2227-0280_2023_04_15.

22. Белкина Р. И., Губанова В. М., Губанов М. В. Число падения в зерне новых сортов яровой мягкой пшеницы в условиях северной лесостепи Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (74). С. 25–29.

23. Белкина Р. И., Федорук Т. К. Ранжирование сортов пшеницы по качеству зерна // Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России: сборник трудов национальной научно-практической конференции. Тюмень, 2022. С. 41–46.

24. Яценко С. Н., Логинов Ю. П., Казак А. А. Влияние предшественника на урожайность и качество семян сортов пшеницы в северной лесостепи Тюменской области // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 1 (62). С. 47–57. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.007.

25. Казак А. А., Логинов Ю. П. Урожайность и хлебопекарные качества сортов яровой мягкой пшеницы сибирской селекции в северной лесостепи Тюменской области // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020. № 2 (59). С. 6–14. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.001.

26. Казак А. А., Логинов Ю. П., Еремин Д. И. Урожайность и качество зерна среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания в северной лесостепи Тюменской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 63–69.

Об авторах:

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

Анастасия Афонасьевна Казак, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-0563-3806, AuthorID 704874. *E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Вера Михайловна Губанова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0003-0622-872X, AuthorID 305022. *E-mail: gubanovavm@gausz.ru*

References

1. Shaykhutdinov F. Sh., Serzhanov I. M., Serzhanova A. R., Garaev R. I., Zalyalov R. R. The role of the variety and the main elements of technology in the formation of the yield of spring soft wheat in the conditions of the Pre-Volga zone of the Republic of Tatarstan. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2022; 17 (4): 71–76. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-71-76. (In Russ.)
2. Shaykhutdinov F. Sh., Serzhanov I. M., Serzhanova A. R., Garaev R. I., Hamitova A. R. The yield and quality of spring wheat grain depending on the timing of sowing, the depth of seeding and the background of nutrition in the northern part of the middle Volga region. *Agrobiotechnologies and Digital Farming*. 2022; 2 (2): 28–32. DOI: 10.12737/2782-490X-2022-22-26. (In Russ.)
3. Utebaev M. U., Shelaeva T. V., Bome N. A., Chilimova I. V., Kradetskaya O. O., Dashkevich S. M., Novokhatin V. V., Wejsfel'd L. I. Grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183 (3): 27–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38. (In Russ.)
4. Utebaev M. U., Bome N. A., Shelaeva T. V., Kradetskaya O. O., Chilimova I. V. Quality of grain of common wheat in Northern Kazakhstan. *Vestnik of Omsk SAU*. 2020; 2 (38): 99–111. (In Russ.)
5. Pakhotina I. V., Ignat'eva E. Yu., Belan I. A., Rosseeva L. P., Soldatova L. T. Strong varieties are the basis to produce high-quality processing products of bread wheat grain. *Grain Economy of Russia*. 2022; 14 (5): 39–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-39-46. (In Russ.)
6. Kovtun V. I., Kovtun L. N. New competitive, plastic variety of soft winter wheat Stavropolskaya 7. *Bulletin of KrasGAU*. 2021; 3 (168): 27–33. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-27-33. (In Russ.)
7. Malkanduev H. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. H. Formation of yield and grain quality of winter wheat varieties depending on Preceders and growing conditions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022; 3 (107): 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50. (In Russ.)
8. Yushkevich L. V., Pakhotina I. V., Shchitov A. G. Agrotechnological methods of soft spring wheat cultivation use efficiency to increase productivity and grain quality in the Omsk region. *Bulletin of KrasGAU*. 2021; 7 (172): 26–34. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34. (In Russ.)
9. Bome N. A., Kolokolova N. N., Utebaev M. U. Ecological selection of *Triticum aestivum* L. genotypes for resistance to powdery mildew and grain quality. *Modern Approaches and Methods in Plant Protection: proceedings of the II International scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2020. Pp. 136–137. (In Russ.)
10. Netsvetaev V. P., Filippova Yu. M., Kozelets Ya. O., Ascheulova A. P. Varieties of winter wheat from geographically different places of origin in the conditions of Belgorod area. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2018; 4 (20): 128–135. (In Russ.)
11. Netsvetaev V. P., Akinshina O. V., Petrenko A. V., Kozelets Ya. O., Ascheulova A. P., Filippova Yu. M., Litvinov A. I. Grain weight and yield of winter wheat under thermal stress in the field. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2023; 1 (37): 79–86. (In Russ.)
12. Solodovnikov A. P., Upolovnikov D. A., Lynkov A. S., Poletaev I. S., Lyovkina A. Yu. Substantiation of the influence of agrophysical factors and climatic conditions on the yield and quality of winter wheat in the lower Volga Region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 4: 48–52. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp48-52. (In Russ.)
13. Pakhotina I. V., Ignat'eva E. Yu., Rosseeva L. P., Belan I. A., Omelyanyuk L. V. Specific features of protein content formation in soft spring wheat grain in the conditions of Western Siberia. *Bulletin of KrasGAU*. 2021; 5 (170): 37–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45. (In Russ.)
14. Pshenichnikova T. A. Genetic approaches to the formation of diversity in technological properties of grain and flour among the gene pool of Russian soft wheat. *Quality of Grain, Flour and Bread: materials of reports of the IV International conference*. Moscow, 2019. Pp. 30–39. (In Russ.)

15. Simonov A. V., Pshenichnikova T. A. Technological properties of grain and flour in bread wheat (*triticum aestivum* L.) Genotypes carrying two loci that determine the endosperm structure. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021; 182 (1): 91–98. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-91-98. (In Russ.)
16. Traiber R. S., Tobolova G. V. Grain prolamins and their effect on wheat baking quality. *World of Innovation*. 2022; 1 (20): 22–28. (In Russ.)
17. Tobolova G. V., Fedoruk T. K. Correlation of the component composition of gliadin with the grain quality of spring bread wheat of the Tyumen region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 6 (92): 31–34. (In Russ.)
18. Shamanin V. P., Chursin A. S., Kuz'min O. G., Bezukladov I. V., Koshkin M. N., Verner A. O. Selection for improving the technological and nutritional properties of spring soft wheat grain in Omsk State Agrarian University. *Breeding and production technologies of environmentally safe crop production in a changing climate: a collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of the birth of the Honored Agronomist of the Russian Federation, Professor, Doctor of Agricultural Sciences Yu. P. Loginov*. Tyumen, 2022. Pp. 21–26. (In Russ.)
19. Gordeeva E. I., Usenko N. I., Stabrovskaya O. I., Sharfunova I. B., Otmahova Yu. S., Khlestkina E. K. Marker-controlled production and production of wheat forms with an increased level of bioflavonoids: product evaluation to substantiate the importance of the direction. *Gene Pool and Plant Breeding: Abstracts of the III International conference dedicated to the 130th anniversary of N. I. Vavilov*. Novosibirsk, 2017. Pp. 15–16. (In Russ.)
20. Belkina R. I., Kazak A. A., Letyago Yu. A. The problem of improving the quality of wheat grain in the Tyumen region. *Food Security: Past, Present, Future: materials of the round table (with international participation)*. In 2 parts. Lugansk, 2023. Pp. 34–39. (In Russ.)
21. Belkina R. I. Raw material properties of wheat grain in the Tyumen region. *Agro-Food Policy in Russia*. 2023; 4 (107): 15–19. DOI: 10.35524/2227-0280_2023_04_15. (In Russ.)
22. Belkina R. I., Gubanova V. M., Gubanov M. V. The number of falling in the grain of new spring soft wheat varieties under the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023; 3 (74): 25–29. (In Russ.)
23. Belkina R. I., Fedoruk T. K. Ranking of wheat varieties by grain quality. *Integration of Science and Education in Agricultural Universities to Ensure Food Security in Russia: proceedings of the National Scientific and Practical Conference*. Tyumen, 2022. Pp. 41–46. (In Russ.)
24. Yashchenko S. N., Loginov Yu. P., Kazak A. A. Influence of preceding crop on yield and quality of seeds of wheat varieties in northern forest-steppe of Tyumen region. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2021; 1 (62): 47–57. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.007. (In Russ.)
25. Kazak A. A., Loginov Yu. P. Yield and baking quality of spring wheat varieties of siberian breeding in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Vestnik of Buryat state academy of agriculture named after V. Philippov*. 2020; 2 (59): 6–14. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.001. (In Russ.)
26. Kazak A. A., Loginov Yu. P., Eremin D. I. The yields and grain quality of medium early varieties of spring soft wheat depending on the level of mineral nutrition in the northern forest-steppe zone of Tyumen region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; 5 (79): 63–69. (In Russ.)

Authors' information:

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

Anastasiya A. Kazak, doctor of agricultural sciences, head of the department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-0563-3806, AuthorID 704874. *E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Vera M. Gubanova, candidate of agricultural sciences, associate professor the department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0003-0622-872X, AuthorID 305022. *E-mail: gubanovavm@gausz.ru*

Оптимизация пастбищной нагрузки на степные экосистемы аридной территории Ставропольского края

Н. Г. Лапенко, О. В. Хонина[✉], Л. Р. Оганян

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия

[✉]E-mail: honina.o@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы рационального использования травостоя степных фитоценозов при пастбищном их использовании; соответствия пастбищной емкости и численности выпасаемого поголовья. **Цель работы** – оценить современное состояние степных сообществ, используемых в качестве пастбищных угодий для выпаса имеющегося поголовья крупного и мелкого рогатого скота, и предложить пути оптимизации пастбищного животноводства аридной территории Ставропольского края. **Методы.** Проведен статистический анализ поголовья крупного и мелкого рогатого скота на исследуемой территории. Экспедиционное изучение природных травостоев осуществлялось в 2021–2023 гг. на учетных площадках (100 м²) согласно требованиям методик, общепринятых в фитоценологии. **Результаты исследования.** Статистический анализ показал, что к началу 2000 г. поголовье овец на рассматриваемой территории сократилось в 2,6 раза, крупного рогатого скота – в 1,6 раза. В последующие годы с постепенным выходом животноводческой отрасли из кризиса в этой зоне отмечен устойчивый рост поголовья мелкого и крупного рогатого скота до 1306,1 и 74,8 тыс. голов соответственно. Выявлено, что растительность природных угодий, используемых в пастбищном хозяйстве аридной зоны Ставропольского края, вторична, низкоросла и однообразна по составу флоры и растительным ассоциациям. Емкость пастбищных угодий не соответствует потребности в корме выпасаемого поголовья. На текущий момент дефицит пастбищного корма составляет 323,7 тыс. тонн кормовых единиц. На таких пастбищных угодьях животные не получают корм в достаточном количестве. Рекомендована оптимизация пастбищного хозяйства путем ограничения пастбищной нагрузки и приведения количества выпасаемого поголовья в соответствие с кормоемкостью пастбищных угодий. Это поможет обеспечить имеющееся поголовье животных кормом соответствующим их нормативной потребности. **Научная новизна.** Получены новые данные о современном состоянии степных сообществ аридной территории Ставропольского края и соответствии численности выпасаемого поголовья пастбищной емкости.

Ключевые слова: степные экосистемы, животноводство, кормоемкость, крупный рогатый скот, мелкий рогатый скот, пастбищная нагрузка, природные корма, антропогенное воздействие

Для цитирования: Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Оганян Л. Р. Оптимизация пастбищной нагрузки на степные экосистемы аридной территории Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1128–1137. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1128-1137>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра согласно тематическому плану НИР по теме FNMU-2022-0008 «Усовершенствовать систему лугопастбищного кормопроизводства на Юге России».

Дата поступления статьи: 27.04.2024, **дата рецензирования:** 07.05.2024, **дата принятия:** 24.06.2024.

Optimization of the pasture load on the steppe ecosystems of the arid territory of the Stavropol Territory

N. G. Lapenko, O. V. Khonina[✉], L. R. Oganyan

North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Territory, Russia

[✉]E-mail: honina.o@mail.ru

Abstract. The article considers the issues of rational use of grass of steppe phytocenoses in their pasture use; the correspondence of pasture capacity and the number of grazed livestock. **The purpose** of the study is to assess the current state of steppe communities used as pasture lands for grazing existing livestock of large and small cattle and to propose ways to optimize pasture livestock breeding in the arid territory of the Stavropol Territory. **Methods.** A statistical analysis of the number of cattle and small cattle in the study area was carried out. The expeditionary study of natural herbage was carried out in 2021–2023 on accounting sites (100 m²) according to the requirements of methods generally accepted in phytocenology. **The results of the study.** Statistical analysis showed that by the beginning of 2000, the number of sheep in the territory under consideration had decreased by 2.6 times, and cattle by 1.6 times. In subsequent years, with the gradual recovery of the livestock industry from the crisis, a steady increase in the number of small and large cattle was noted in this zone to 1306.1 and 74.8 thousand heads, respectively. It was revealed that the vegetation of natural lands used in pasture farming in the arid zone of the Stavropol Territory is secondary, stunted and monotonous in terms of flora composition and plant associations. The capacity of the pasture lands does not correspond to the feed needs of the grazed livestock. At the moment, the shortage of pasture feed is 323.7 thousand tons of feed units. On such pasture lands, animals do not receive food in sufficient quantities. It is recommended to optimize pasture management by limiting the pasture load and bringing the number of grazed livestock in line with the feed capacity of pasture lands. This will help to provide the existing livestock with food that meets their regulatory needs. **Scientific novelty.** New data have been obtained on the current state of steppe communities in the arid territory of the Stavropol Territory and the correspondence of the number of grazed livestock to the pasture capacity.

Keywords: steppe ecosystems, animal husbandry, feed intensity, cattle, small cattle, pasture load, natural feed, anthropogenic impact

For citation: Lapenko N. G., Khonina O. V., Oganyan L. R. Optimization of the pasture load on the steppe ecosystems of the arid territory of the Stavropol Territory. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1128–1137. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1128-1137>. (In Russ.)

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the North Caucasus Federal Agrarian Research Center in accordance with the thematic research plan on the topic FNMU-2022-0008 “To improve the system of grassland forage production in the South of Russia”.

Date of paper submission: 27.04.2024, **date of review:** 07.05.2024, **date of acceptance:** 24.06.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Являясь важным источником природных кормов для сельскохозяйственных животных, степные экосистемы Ставропольского края как подвергались в прошлом, так и подвергаются в настоящем интенсивной пастбищной нагрузке, и сегодня вопросы повышения продуктивности, сохранения и рационального использования травостоя степных фитоценозов – одна из нерешенных проблем пастбищного хозяйства региона, в том числе его аридной территории [1].

Современный ландшафт аридной зоны Ставропольского края – аграрно-техногенный. В эту зону входят земли ряда административных районов – Нефтекумского, Левокумского, Степновского

и Курского, удельный вес которых в общекраевом поголовье крупного и мелкого рогатого скота составляет в настоящее время более 60 % [2]. Для этих районов характерны резкие континентальные абиотические условия и практически полная трансформация зональной степной растительности, на смену которой пришли вторичные растительные модификации дигрессивного ряда, вплоть до однолетниковых растительных групп, а местами и полная потеря растительного покрова [3].

Система ведения животноводства здесь в течение длительного времени формировалась под воздействием комплекса природных, организационно-экономических, социальных и (особенно в последние годы) рыночных инфраструктурных факторов [4].

Крупные размеры площади пашни, обилие тепла и высокая сумма активных температур, длинный вегетационный период, наличие больших площадей степей, используемых под пастбищные угодья, многовековые традиции и опыт населения продолжают оставаться основными факторами, обуславливающими развитие на этой территории овцеводства и скотоводства [5].

Проблема сохранения степной растительности не может быть решена без разработки научной стратегии, направленной на адаптивное (рациональное) природопользование, повышение устойчивости и продуктивности природных экосистем, восстановление природно-ресурсного потенциала, оптимизации лугопастбищного кормопроизводства и животноводческой отрасли [6].

В целях решения проблемы минимизации процессов деградации почвенного и растительного покрова степных экосистем необходимо выполнение ряда мероприятий, без которых вопросы их сохранения не будут решены:

1) лесомелиорация – создание пастбищезащитных лесных насаждений, адаптированных к аридным условиям;

2) фитомелиорация – улучшение (восстановление) деградированного растительного покрова, создание травостоев из сортовых и дикорастущих видов растений, включая аборигенную флору (джузгун, прутняк, типчак, житняк, донник, пырей и др.);

3) оптимизация пастбищного животноводства, главной задачей которой является приведение нагрузки поголовья сельскохозяйственных животных в соответствие с состоянием растительного покрова пастбищных угодий и их кормоемкостью [7–9].

Развитие отрасли животноводства напрямую связано с вопросами рационального природопользования, состояния степных экосистем, используемых под выпас мелкого и крупного рогатого скота, и первым экологическим принципом рационального природопользования в процессе использования природных травостоев является соответствие численности выпасаемого поголовья пастбищной емкости [10].

При соблюдении нормативно допустимой пастбищной нагрузки отчуждение травостоя не оказывает негативного влияния на степные растительные сообщества [11]. Увеличение пастбищной нагрузки выше допустимых нормативов чревато развитием процессов пастбищной депрессии [12]. Широко известны примеры деградации и опустынивания степных экосистем юга России в результате перевыпаса, в их числе Республика Дагестан, Республика Калмыкия, Астраханская, Волгоградская, Ростовская области [13; 14]. Не минули эти процессы и аридную зону Ставропольского края.

Цель работы – оценить современное состояние степных сообществ, используемых в качестве пастбищных угодий для выпаса крупного и мелкого рогатого скота, и предложить пути оптимизации пастбищного животноводства аридной территории Ставропольского края.

Проведенные исследования позволят сохранить степные экосистемы, улучшить их продуктивность и создать более благоприятные условия для рентабельного ведения мясного скотоводства и овцеводства.

Методология и методы исследования (Methods)

Объект нашего исследования – степные фитоценозы, расположенные согласно геоботаническому районированию территории Ставропольского края в зоне полупустыни и сухих степей.

Экспедиционное изучение природных травостоев осуществлялось нами в 2021–2023 гг. на учетных площадках (100 м²) согласно требованиям методик, общепринятых в фитоценологии. Учет надземной фитомассы проводился на учетных площадках 0,5 м² в шестикратной повторности.

Проведен статистический анализ поголовья крупного и мелкого рогатого скота на исследуемой нами территории [15]. Дана оценка кормового потенциала природных травостоев.

Природные условия восточных районов Ставропольского края (Нефтекумский, Левокумский, Степновский, Курский), в которых проводились геоботанические исследования, характеризуются как крайне засушливые. Климат резко континентальный с гидротермическим коэффициентом (ГТК) вегетационного периода 0,6–0,7, снижающимся в засушливые годы до 0,4. Среднегодовое количество осадков – 300–370 мм с неравномерным распределением по периодам вегетации. Количество осадков, выпадающее в вегетационный период, составляет 220–290 мм. Среднегодовая температура воздуха – 10,8–11,1 °С. Лето жаркое (в июне +25 °С). Максимальная температура летом может достигать +42 °С. Зима умеренно мягкая (в январе –2,3...–2,4 °С). Снежный покров неустойчив, его высота не превышает 10 см. Продолжительность вегетационного периода – 180–190 дней. Сумма активных температур за вегетационный период – от 3600 °С до 3750 °С.

Почвенный покров зоны исследования представлен светло-каштановыми почвами, часто в комплексе с солонцами. Встречаются также каштановые, темно-каштановые и лугово-каштановые почвы.

Результаты (Results)

Особенностью развития животноводства в аридной зоне Ставропольского края является широкое распространение пастбищного содержания, нередко круглогодичного.

Таблица 1
Динамика поголовья овец и коз, голов

Наименование	Овцы и козы, голов				Среднегодовой темп роста (+) снижения (-), %
	1990 год	2000 год	2010 год	2023 год	
Хозяйства всех категорий					
Всего по Ставропольскому краю	6 207 400,0	1 304 300,0	2 212 860,0	1 193 290,0	-2,5
Левокумский	375 000,0	184 546,0	598 053,0	333 940,0	-0,3
Нефтекумский	335 000,0	116 522,0	496 085,0	309 419,0	-0,2
Степновский	201 000,0	78 949,0	115 997,0	41 851,0	-2,5
Курский	252 000,0	65 782,0	95 931,0	59 817,0	-2,4
Итого по аридной зоне	1 163 000,0	445 799,0	1 306 066,0	745 027,0	-1,1
Удельный вес в общекраевом поголовье, %	18,7	34,2	59,0	62,4	

Table 1
Dynamics of the number of sheep and goats, heads

Name	Sheep and goats, heads				Average annual growth rate (+) decrease (-), %
	1990	2000	2010	2023	
Farms of all categories					
Total for the Stavropol Territory	6 207 400.0	1 304 300.0	2 212 860.0	1 193 290.0	-2.5
Levokumskiy	375 000.0	184 546.0	598 053.0	333 940.0	-0.3
Neftekumskiy	335 000.0	116 522.0	496 085.0	309 419.0	-0.2
Stepnovskiy	201 000.0	78 949.0	115 997.0	41 851.0	-2.5
Kurskiy	252 000.0	65 782.0	95 931.0	59 817.0	-2.4
Total for the arid zone	1 163 000.0	445 799.0	1 306 066.0	745 027.0	-1.1
The specific weight in the total regional livestock, %	18.7	34.2	59.0	62.4	

Таблица 2
Динамика поголовья крупного рогатого скота, голов

Наименование	Крупный рогатый скот, голов				Среднегодовой темп роста (+) снижения (-), %
	1990 год	2000 год	2010 год	2023 год	
Хозяйства всех категорий					
Всего по Ставропольскому краю	1 093 100,0	430 800,0	374 195,0	263 607,0	-2,4
Левокумский	22 200,0	21 626,0	28 800,0	24 761,0	0,4
Нефтекумский	18 000,0	13 212,0	25 254,0	17 968,0	-0,01
Степновский	15 400,0	8 232,0	7 639,0	4 640,0	-2,2
Курский	30 000,0	10 900,0	13 083,0	10 411,0	-2,0
Итого по аридной зоне	85 600,0	53 970,0	74 776,0	57 780,0	-1,0
Удельный вес в общекраевом поголовье, %	7,8	12,5	20,0	21,9	

Table 2
Dynamics of the number of cattle, heads

Name	Cattle, heads				Average annual growth rate (+) decrease (-), %
	1990	2000	2010	2023	
Farms of all categories					
Total for the Stavropol Territory	1 093 100.0	430 800.0	374 195.0	263 607.0	-2.4
Levokumskiy	22 200.0	21 626.0	28 800.0	24 761.0	0.4
Neftekumskiy	18 000.0	13 212.0	25 254.0	17 968.0	-0.01
Stepnovskiy	15 400.0	8 232.0	7 639.0	4 640.0	-2.2
Kurskiy	30 000.0	10 900.0	13 083.0	10 411.0	-2.0
Total for the arid zone	85 600.0	53 970.0	74 776.0	57 780.0	-1.0
The specific weight in the total regional livestock, %	7.8	12.5	20.0	21.9	

Проведенный на основе полученных статистических данных анализ показал, что за исследуемый период (1990–2023 гг.) в аридной зоне численность мелкого рогатого скота в хозяйствах всех категорий сократилась с 1163,0 до 745,0 тыс. голов, или на 35,9 %, а поголовье крупного рогатого скота уменьшилось с 85,6 до 57,7 тыс. голов, или на 32,5 %. Однако если среднегодовые темпы спада поголовья овец, коз и крупного рогатого скота в Курском (–2,4 % и –2,0 %) и Степновском (–2,5 и –2,2 %) районах сравнимы со среднекраевыми (–2,5 % и –2,4 %), то в Левокумском районе эти показатели составили –0,3 % и 0,4 %, а в Нефтекумском –0,2 % и –0,01 % (таблицы 1, 2).

Также стоит отметить увеличение уровня значимости Нефтекумского, Левокумского, Степновского и Курского административных районов в общекраевом поголовье мелкого и крупного рогатого скота. Так, за рассматриваемый период (1990–2023 гг.), удельный вес этих районов в общекраевом поголовье овец и коз увеличился с 18,7 до 62,4 %, а крупного рогатого скота – с 7,8 до 21,9 %.

По сравнению с 1990 годом к началу 2000 год поголовье овец и коз в аридной зоне сократилось в 2,6 раза (в среднем по краю – в 4,8 раза), крупного рогатого скота – в 1,6 раза (в среднем по краю – 2,5 раза). В последующие годы (2010 год) с постепенным выходом животноводческой отрасли из кризиса отмечался устойчивый рост поголовья мелкого и крупного рогатого скота в восточных районах края до 1306,1 и 74,8 тыс. голов соответственно.

В последние годы (2023 год) в целом отмечалось снижение поголовья мелкого и крупного рогатого скота в этих четырех районах до 745,0 и 57,8 тыс. голов соответственно.

Однако численность поголовья Левокумского и Нефтекумского районов достигла численности поголовья мелкого и крупного скота, соответствующего 1990-м годам. Площади же природных кормовых угодий, на которых базируется имеющееся поголовье мелкого и крупного рогатого скота этой территории, на сегодняшний день остались прежними и составляют 38 % от общей площади кормовых угодий края. То есть пастбищная нагрузка на травостой достаточна высокая. Возникает вопрос о современном состоянии растительного покрова природных кормовых угодий – важного источника кормов в пастбищный период, их кормоемкости и пастбищной нагрузке имеющегося поголовья на них.

По материалам геоботанических экспедиций выявлено, что растительность природных угодий, используемых в пастбищном хозяйстве аридной зоны Ставропольского края, вторична, низкоросла и однообразна по составу флоры и растительным ассоциациям. Это результат пастбищной перегрузки – многолетней, нерегулируемой. Из травостоя практически полностью выпали виды ковылей, ов-

сяницы, житняков и другие ценные злаковые и бобовые травы, вместо них буйствуют сорные виды растений. Растения, доминирующие в травостое большинства пастбищных угодий, – молочай Сегьеров, мятлик луковичный, полынь австрийская, полынь Лерха, тысячелистник Биберштейна, свинорой пальчатый, солянка южная, ячмень заячий и др.

Биологическая урожайность их надземной фитомассы колеблется от 4,2 до 9,0 ц/га воздушно-сухой массы при коэффициенте поедаемости 0,4–0,5, вследствие чего пастбищная урожайность (поедаемая кормовая масса) составила 1,7–4,5 ц/га воздушно-сухой массы. Качество и продуктивность пастбищных угодий очень низкое (44,0–47,0 кормовых единиц в 1 ц корма; 0,8–2,0 ц/га кормовых единиц) соответственно и питательность подножного корма для животных не соответствует зоотехнической норме. То есть кормовой потенциал природных сообществ весьма низкий (таблица 3).

В таких условиях очень важно знать оптимальную пастбищную нагрузку, выражающуюся в количестве голов скота, приходящегося на единицу площади пастбища и пастбищную емкость – количество животных, которое может обеспечить пастбищным кормом определенный участок природного пастбища [16].

Нагрузка на кормовые угодья определялась по нормативной продолжительности пастбищного периода крупного рогатого скота (180 дней) и овец (300 дней) и потребности в пастбищном корме одной условной головы крупного рогатого скота за этот период (2,2 кормовых единиц) и одной условной головы овцы (3,67 кормовых единиц).

Коэффициент использования травостоя – величина не постоянная и зависит от его состава и периода сраживания. С учетом степени деградированности травостоя, наличия нецелинной, сорной растительности, не всегда поедаемой животными, в нашем случае коэффициент поедаемости травостоя составил 0,4–0,5.

При расчете предельной нагрузки животных на пастбищах натуральное поголовье переведено в условное, с использованием соответствующих коэффициентов: крупный рогатый скот – 1,0, овцы и козы, в среднем – 0,1.

По результатам наших исследований, с учетом урожайности надземной фитомассы и ее поедаемости пастбищная нагрузка основных животноводческих районов Ставропольского края (Нефтекумского, Левокумского, Степновского и Курского) на 2023 г. составила от 0,04 до 0,09 условных голов на 1 га. Пастбищная емкость кормовых угодий аридной территории Ставропольского края значительно ниже имеющегося поголовья, то есть пастбищная нагрузка выше предельно допустимой в 2–3 раза, а в Левокумском районе в 7 раз (таблица 4).

Таблица 3

Продуктивность травостоя природных кормовых угодий, 2023 г.

Административный район	Биологическая урожайность сухой массы, ц/га	Коэффициент поедаемости	Пастбищная урожайность (сухой поедаемой массы), ц/га	Содержание кормовых единиц в 1 ц корма	Урожайность кормовых единиц, ц/га
Левокумский	4,2	0,4	1,7	44,0	0,8
Нефтекумский	8,2	0,4	3,3	44,0	1,5
Степновский	9,0	0,5	4,5	44,0	2,0
Курский	4,7	0,5	2,4	47,0	1,1

Table 3

Productivity of grass stands of natural forage lands, 2023

Administrative district	Biological yield of dry weight, c/ha	The coefficient of eatability	Pasture yield (dry eaten weight), c/ha	The content of feed units in 1 c of feed	Yield of fodder units, c/ha
Levokumskiy	4.2	0.4	1.7	44.0	0.8
Neftekumskiy	8.2	0.4	3.3	44.0	1.5
Stepnovskiy	9.0	0.5	4.5	44.0	2.0
Kurskiy	4.7	0.5	2.4	47.0	1.1

Таблица 4

Численность поголовья животных, емкость пастбищных угодий и оптимальная нагрузка имеющегося поголовья на единицу площади, 2023 г.

Административный район	Площадь природных кормовых угодий, га	Крупный рогатый скот, условных голов	Овец и коз, условных голов	Всего поголовья, условных голов	Емкость пастбищ, условных голов	Нагрузка, условных голов на 1 га
Левокумский	238 253,0	24 761,0	33 394,0	58 155,0	8 664,0	0,04
Нефтекумский	229 230,0	17 968,0	30 941,9	48 909,9	15 630,0	0,07
Степновский	35 956,0	4 640,0	4 185,1	8 825,1	3 269,0	0,09
Курский	147 017,0	10 411,0	5 981,7	16 392,7	7 351,0	0,05
Итого	529 035,0	57 780,0	74 502,7	132 282,7	34 914,0	

Table 4

The number of livestock animals, the capacity of pasture lands and the optimal load of available livestock per unit area, 2023

Administrative district	The area of natural forage lands, ha	Cattle, conditional heads	Sheep and goats, conditional heads	Total livestock, conditional heads	Pasture capacity, conditional heads	Load, conditional heads/ha
Levokumskiy	238 253.0	24 761.0	33 394.0	58 155.0	8 664.0	0.04
Neftekumskiy	229 230.0	17 968.0	30 941.9	48 909.9	15 630.0	0.07
Stepnovskiy	35 956.0	4 640.0	4 185.1	8 825.1	3 269.0	0.09
Kurskiy	147 017.0	10 411.0	5 981.7	16 392.7	7 351.0	0.05
Total	529 035.0	57 780.0	74 502.7	132 282.7	34 914.0	

На таких пастбищных угодьях должно содержаться меньшее количество сельскохозяйственных животных. Вместе с тем на этих площадях по-прежнему выпасается неограниченное количество животных, что ведет к дальнейшему снижению продуктивности и кормовой ценности травостоя, а местами и полной утрате растительности степных сообществ.

Снижение продуктивности и кормовой ценности травостоев при интенсивном ненормированном выпасе приведет к дальнейшему снижению пастбищной емкости степных сообществ [17].

Несомненно, емкость пастбищных угодий не соответствует потребности в корме имеющегося поголовья в пастбищный период в условиях аридной зоны Ставропольского края (рис. 1).

На текущий момент дефицит пастбищного корма для имеющегося поголовья составляет 323,7 тыс. т кормовых единиц. На таких пастбищных угодьях сельскохозяйственные животные не получают пастбищный корм в достаточном количестве, необходима их дополнительная подкормка. В противном случае такое поголовье малопродуктивно, что экономически нерентабельно (таблица 5, рис. 2).

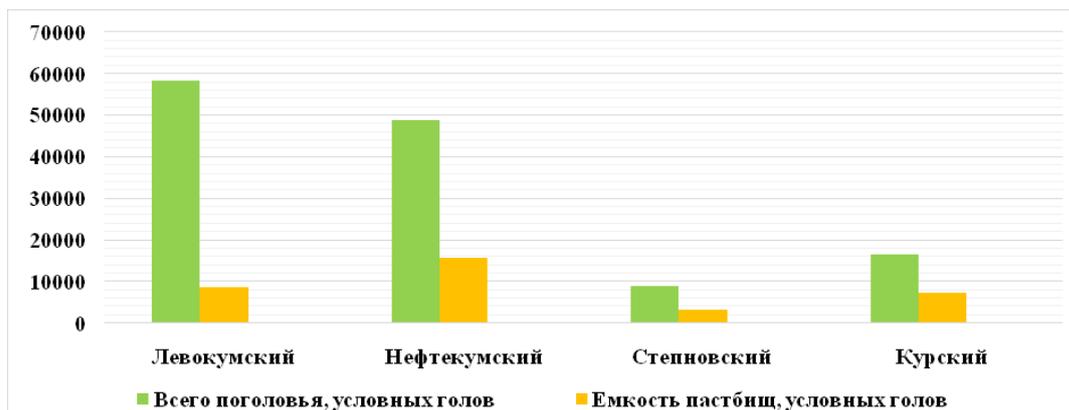


Рис. 1. Поголовье животных и емкость кормовых угодий аридной территории Ставропольского края, 2023 г.

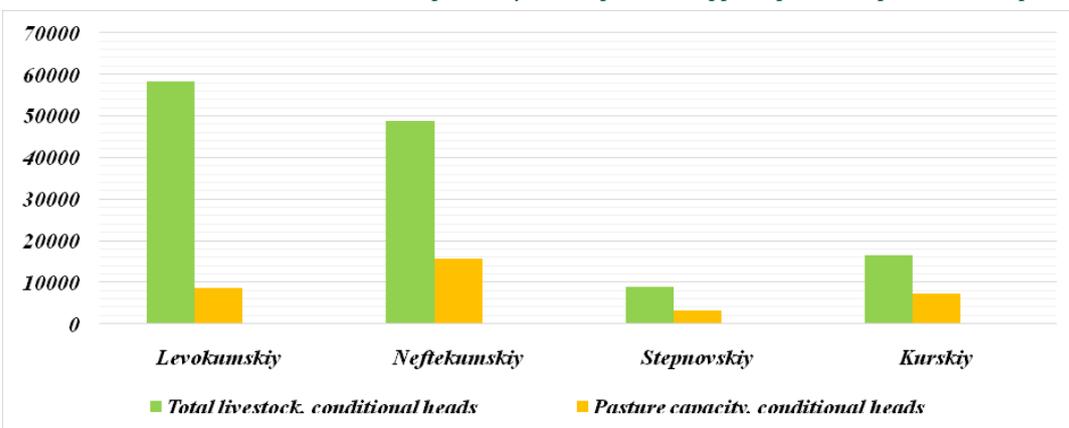


Fig. 1. The number of animals and the capacity of forage lands arid territory of the Stavropol Territory, 2023

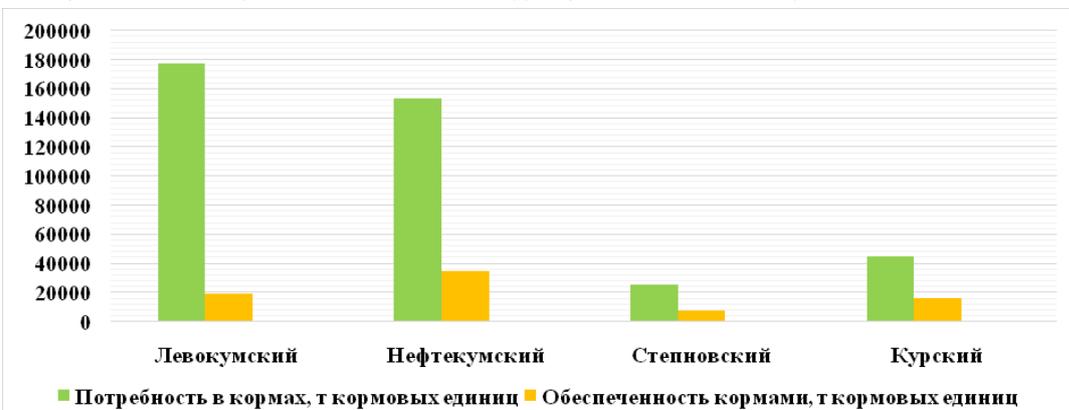


Рис. 2. Обеспеченность и потребность в кормах в пастбищный период имеющегося поголовья аридной территории Ставропольского края, 2023 Г.

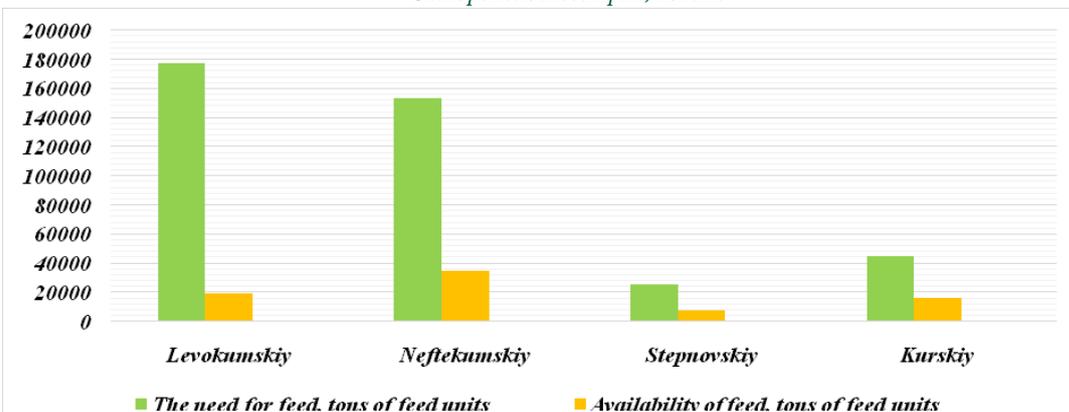


Fig. 2. Availability and need for feed in the pasture period of the available livestock arid territory of the Stavropol Territory, 2023

Обеспеченность и потребность в природных кормах в пастбищный период имеющегося поголовья, 2023 г.

Административный район	Площадь природных кормовых угодий, га	Крупный рогатый скот, условных голов	Овец и коз, условных голов	* Потребность в корме, т кормовых единиц			Обеспеченность кормов с кормовых угодий, т кормовых единиц
				Крупный рогатый скот (180 дней)	Овцы и козы (300 дней)	Поголовье, всего	
Левокумский	238 253,0	24 761,0	33 394,0	54 474,0	122 556,0	177 030,0	19 060,0
Нефтекумский	229 230,0	17 968,0	30 941,9	39 530,0	113 557,0	153 087,0	34 385,0
Степновский	35 956,0	4 640,0	4 185,1	10 208,0	15 359,0	25 567,0	7 191,0
Курский	147 017,0	10 411,0	5 981,7	22 904,0	21 954,0	44 858,0	16 172,0
Итого	529 035,0	57 780,0	74 502,7	127 116,0	273 426,0	400 542,0	76 808,0

Примечание. * Потребность крупного рогатого скота взята из расчета 2,2 т кормовых единиц на 1 условную голову за пастбищный период, равный 6 месяцам (180 дней); потребность мелкого рогатого скота – из расчета 3,67 т кормовых единиц на 1 условную голову за пастбищный период равный 10 месяцам (300 дней).

Table 5

Availability and demand for natural feed in the pasture period of the available livestock, 2023

Administrative district	The area of natural forage lands, ha	Cattle, conditional heads	Sheep and goats, conditional heads	* The need for feed, tons of feed units			Availability of feed from forage lands, tons of feed units
				cattle (180 days)	sheep and goats (300 days)	livestock, total	
Levokumskiy	238 253.0	24 761.0	33 394.0	54 474.0	122 556.0	177 030.0	19 060.0
Neftekumskiy	229 230.0	17 968.0	30 941.9	39 530.0	113 557.0	153 087.0	34 385.0
Stepnovskiy	35 956.0	4 640.0	4 185.1	10 208.0	15 359.0	25 567.0	7 191.0
Kurskiy	147 017.0	10 411.0	5 981.7	22 904.0	21 954.0	44 858.0	16 172.0
Total	529 035.0	57 780.0	74 502.7	127 116.0	273 426.0	400 542.0	76 808.0

Note. * The demand of cattle is taken at the rate of 2.2 tons of feed units per 1 conventional head for a pasture period equal to 6 months (180 days); the demand of small cattle is taken at the rate of 3.67 tons of feed units per 1 conventional head for a pasture period equal to 10 months (300 days)

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный анализ показал, что недостаточное количество пастбищных кормов, их плохое качество и нерациональное использование степных экосистем является одной из причин низкой эффективности животноводства.

Увеличения производства кормов и улучшения их качества можно добиться только за счет оптимизации пастбищного животноводства и рационального использования природного потенциала каждого гектара пастбищных земель.

Оптимизация пастбищного хозяйства возможна путем ограничения пастбищной нагрузки на единицу площади и приведения количества поголовья в соответствие с продуктивностью и кормоемкостью пастбищных угодий. Или же наоборот, необходимо увеличить площади пастбищных земель до уровня полного обеспечения имеющегося поголовья пастбищным кормом. То есть освоить дополнительные площади пашни для посева кормовых трав и тра-

восмесей, адаптированных к почвенно-климатическим условиям или залужение малопродуктивной пашни (залежи) с переводом в естественные кормовые угодья, что позволит изъять из пахотного использования эродированную и низкорентабельную пашню и снизить дефицит пастбищных земель. Это поможет снизить нагрузку на пастбищные угодья и обеспечить имеющееся поголовье сельскохозяйственных животных кормом соответствующим их нормативной потребности.

Таким образом, степные экосистемы аридной территории Ставропольского края, используемые для выпаса животных, являются важнейшим и наиболее дешевым источником пастбищных кормов в вегетационный период. Следовательно, оптимизация пастбищного животноводства и пастбищной нагрузки на степные фитоценозы, является одним из основных путей сохранения биологического разнообразия степей, их продуктивности и качества природного корма для выпасаемых животных.

Библиографический список

1. Суров А. И., Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Оганян Л. Р., Старостина М. А. Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, № 1. С. 95–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10.

2. Хонина О. В., Шипилов И. А. Эффективные приемы эксплуатации кормовых угодий в овцеводстве // Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 2. С. 53–57. DOI: 10.26897/2074-0840-2022-2-53-57.
3. Волков С. Н., Савинова С. В., Черкашина Е. В., Шаповалов Д. А., Братков В. В., Ключин П. В. Природные ландшафты как фактор эффективного развития сельского хозяйства на Северном Кавказе // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 2. С. 113–124. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-113-124.
4. Гаджиев Н. Г., Плешаков А. М. Особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, № 1. С. 134–144. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-14.
5. Rybashlykova L. P., Lepesko V. V. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in Southern Russia // Russian Forestry Journal. 2021. No. 3 (381). Pp. 37–48. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-37-48.
6. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A., Titkova T. B. Aridization of drylands in the European part of Russia: secular trends and links to droughts // Regional research of Russia. 2020. No. 84 (2). Pp. 207–217. DOI: 10.31857/S258755662002017X.
7. Власенко М. В., Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Эффективные технологии восстановления деградированных земель и создания высококачественных сенокосов в бассейне реки Дон // Аграрный вестник Урала. 2023. № 05 (234). С. 14–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-14-25.
8. Рыбашлыкова Л. П., Сарычев А. Н., Кальдинова О. В. Влияние режима использования на семенное возобновление пастбищных растений Астраханского Заволжья // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2021. С. 220–223.
9. Булахтина Г. К. Подбор кормовых кустарников для реставрации деградированных полупустынных пастбищных экосистем // Аграрный вестник Урала. 2023. № 05 (234). С. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-2-13.
10. Насиев Б. Н., Шибайкин В. А., Беккалиев А. К., Жанаталапов Н. Ж., Садыкова А. А. Способы использования пастбищ в полупустынной зоне Западного Казахстана // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 26–29. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp26-29.
11. Насиев Б. Н., Беккалиев А. К. Влияние пастбищной нагрузки на показатели светло-каштановых почв полупустынной зоны // Роль и место инноваций в сфере агропромышленного комплекса: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А. А. Сысоева. Курск, 2020. С. 328–332.
12. Nasyev B., Bekkaliyev A., Manolov I., Shibaikin V. Influence of grazing technologies on the indices of chestnut soils in Western Kazakhstan // Polish Journal of Soil Science. 2020. Vol. 53, No. 1. Pp. 163–180. DOI: 10.17951/pjss/2020.53.1.163.
13. Бородычев В. В., Власенко М. В., Кулик А. К. Сезонные изменения кормовой продуктивности аридных пастбищ // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 14–24. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-01.
14. Угорец В. И., Гулуева Л. Р. Укрепление кормовой базы в горах Осетии // Горное сельское хозяйство. 2023. № 2 (32). С. 45–50. DOI: 10.25691/GSH.2023.84.17.008.
15. Ставропольский край в цифрах: краткий статистический сборник. Ставрополь: Краевой комитет госстатистики, 2023. 73 с.
16. Nasyev B., Shibaikin V., Bekkaliyev A., Zhanatalapov N., Bekkaliyeva A. Changes in the quality of vegetation cover and soil of pastures in semi-deserts of West Kazakhstan, depending on the grazing methods // Journal of Ecological Engineering. 2022. Vol. 23, No. 10. Pp. 50–60. DOI: 10.12911/22998993/152313.
17. Гулуева Л. Р. Технология улучшения деградированных горных лугов и пастбищ Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 13–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-13-22.

Об авторах:

Нина Григорьевна Лапенко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лугопастбищного кормопроизводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия; ORCID 0000-0003-3856-690X, AuthorID 91042. E-mail: sniish_stepi@mail.ru

Олеся Викторовна Хонина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лугопастбищного кормопроизводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия; ORCID 0000-0002-8509-862X, AuthorID 621876.

E-mail: honina.o@mail.ru

Лусине Робертовна Оганян, руководитель информационно-аналитического центра, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия;

ORCID 0000-0002-0019-8956, AuthorID 744093. E-mail: oganyan@inbox.ru

References

1. Surov A. I., Lapenko N. G., Khonina O. V., Oganyan L. R., Starostina M. A. Steppe ecosystems of the arid zone of southern Russia as a factor in the effective development of livestock farming. *South of Russia: Ecology, Development*. 2024; 19 (1): 95–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10. (In Russ.)
2. Khonina O. V., Shipilov I. A. Effective methods of exploitation of forage lands in sheep breeding. *Sheep, Goats, Wool Business*. 2022; 2: 53–57. DOI: 10.26897/2074-0840-2022-2-53-57. (In Russ.)
3. Volkov S. N., Savinova S. V., Cherkashina E. V., Shapovalov D. A., Bratkov V. V., Klyushin P. V. Natural landscapes as a factor in the effective development of agriculture in the North Caucasus, Russia. *South of Russia: Ecology, Development*. 2020; 15 (2): 113–124. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-113-124. (In Russ.)
4. Gadzhiev N. G., Pleshakov A. M. Features of financial support for environmental projects in the green economy. *South of Russia: Ecology, Development*. 2024; 19 (1): 134–144. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-14. (In Russ.)
5. Rybashlykova L. P., Lepesko V. V. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in Southern Russia. *Russian Forestry Journal*. 2021; 3 (381): 37–48. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-37-48.
6. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A., Titkova T. B. Aridization of drylands in the European part of Russia: secular trends and links to droughts. *Regional Research of Russia*. 2020; 84 (2): 207–217. DOI: 10.31857/S258755662002017X.
7. Vlasenko M. V., Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Effective technologies of restoration of degraded lands and creation of high-quality haymaking in the Don river basin. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 05 (234): 14–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-14-25. (In Russ.)
8. Rybashlykova L. P., Sarychev A. N., Kal'dinova O. V. The influence of the mode of use on the seed renewal of pasture plants of the Astrakhan Volga region. *Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex in Modern Economic Conditions: materials of the International scientific and practical conference*. Volgograd, 2021. Pp. 220–223. (In Russ.)
9. Bulakhtina G. K. Selection of fodder shrubs for the restoration of degraded semi-desert pasture ecosystems. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 05 (234): 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-2-13. (In Russ.)
10. Nasiyev B. N., Shibaikin V. A., Bekkaliyev A. K., Zhanatalapov N. Zh., Sadykova A. A. Methods for using pastures in semi-desert zone of West Kazakhstan. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 2: 26–29. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp26-29. (In Russ.)
11. Nasiyev B. N., Bekkaliyev A. K. The influence of pasture load on the indicators of light chestnut soils of the semi-desert zone. *The Role and Place of Innovations in the Agro-Industrial Complex: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor A. A. Sysyoev*. Kursk, 2020. Pp. 328–332. (In Russ.)
12. Nasiyev B., Bekkaliyev A., Manolov I., Shibaikin V. Influence of grazing technologies on the indices of chestnut soils in Western Kazakhstan. *Polish Journal of Soil Science*. 2020; 53 (1): 163–180. DOI: 10.17951/pjss/2020.53.1.163.
13. Borodychev V. V., Vlasenko M. V., Kulik A. K. Seasonal changes in forage productivity of arid pastures. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2021; 1 (61): 14–24. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-01. (In Russ.)
14. Ugorets V. I., Guluyeva L. R. Strengthening of the fodder base in the mountains of Ossetia. *Mining Agriculture*. 2023; 2 (32): 45–50. DOI: 10.25691/GSH.2023.84.17.008. (In Russ.)
15. Stavropol Territory in numbers: a short statistical collection. Stavropol: Kraevoy komitet gosstatistiki, 2020. 73 p. (In Russ.)
16. Nasiyev B., Shibaikin V., Bekkaliyev A., Zhanatalapov N., Bekkaliyeva A. Changes in the quality of vegetation cover and soil of pastures in semi-deserts of West Kazakhstan, depending on the grazing methods. *Journal of Ecological Engineering*. 2022; 23 (10): 50–60. DOI: 10.12911/22998993/152313.
17. Guluyeva L. R. Technology for improving degraded mountain meadows and pastures in the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 06 (235): 13–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-13-22. (In Russ.)

Authors' information:

Nina G. Lapenko, candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory of grassland forage production, North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Territory, Russia; ORCID 0000-0003-3856-690X, AuthorID 91042. *E-mail: sniish_stepi@mail.ru*

Olesya V. Khonina, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of grassland forage production, North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Territory, Russia; ORCID 0000-0002-8509-862X, AuthorID 621876. *E-mail: honina.o@mail.ru*

Lusine R. Oganyan, head of the information and analytical center, North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Territory, Russia; ORCID 0000-0002-0019-8956, AuthorID 744093. *E-mail: oganyan@inbox.ru*

Содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах земель сельскохозяйственного назначения

А. А. Павлов

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова,
Москва, Россия

E-mail: kuroz@mail.ru

Аннотация. Цель и задачи. Исследование направлено на изучение особенностей распределения валовых форм цинка, свинца, кадмия по генетическим горизонтам почвенного профиля дерново-подзолистых супесчаных почв земель сельскохозяйственного назначения Рязанской области и определение современных фоновых концентраций. **Методология и методы.** Для решения поставленных задач были заложены шурфы глубиной 1,5 м в разных районах области, проанализированы глубина и особенности строения почвенного слоя, влияние на условия миграции исследуемых элементов. По результатам определения содержания исследуемых элементов в почве по интервалам 0,1–0,2 м до материнской выполнен расчет фоновых концентраций. Проведен сравнительный анализ предлагаемых фоновых значений с общеизвестными значениями мировых и отечественных исследователей. **Научная новизна** проведенных исследований заключается в том, что предлагаемые фоновые значения являются современными и рассчитаны непосредственно для дерново-подзолистой супесчаной почвы Рязанской области. **Результаты.** Строение почвенных профилей дерново-подзолистой супесчаной почвы при глубине 110–120 см имеет следующий вид: O – A – EL – ELBt – Bt – BtC – C. При этом зафиксированы в горизонтах A и Bt заметные геохимические барьеры, задерживающие миграцию тяжелых металлов. Полученные значения исследуемых элементов располагались в диапазонах концентраций для Zn (5,4–12,8 мг/кг), Pb (2,1–7,4 мг/кг), Cd (0,031–0,081 мг/кг). Предложены фоновые концентрации: Zn – 8,3 мг/кг, Pb – 4,2 мг/кг, Cd – 0,053 мг/кг, которые отличаются от общеизвестных значений мировых и отечественных исследователей, представленных в сравнительном анализе и дают современное представление о региональном фоновом содержании валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах Рязанской области.

Ключевые слова: геохимический барьер, дерново-подзолистая супесчаная почва, почвенный горизонт, тяжелые металлы, фоновые концентрации

Для цитирования: Павлов А. А. Содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах земель сельскохозяйственного назначения // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1138–1146. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1138-1146>.

Дата поступления статьи: 04.04.2024, **дата рецензирования:** 16.05.2024, **дата принятия:** 13.06.2024.

Content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands

A. A. Pavlov

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia

E-mail: kupoz@mail.ru

Abstract. Purpose and objectives. The research is aimed at studying the peculiarities of the distribution of gross forms of zinc, mumps, cadmium according to the soil profile of sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands of the Ryazan region and determining the current regional background. **Methodology and methods.** To solve the tasks set, pits with a depth of 1.5 m were laid in different regions of the region, the depth and structural features of the soil layer and the effect on the migration conditions of the studied elements were analyzed. Based on the results of determining the content of the studied elements in the soil at intervals of 0.1–0.2 m to the maternal, the calculation of background concentrations was performed. A comparative analysis of the proposed background values with well-known values of world and domestic researchers has been carried out. **The scientific novelty** of the conducted research lies in the fact that the proposed background values are modern and calculated directly for the sod-podzolic sandy loam soil of the Ryazan region. **Results.** The structure of soil profiles of sod-podzolic sandy loam soil at a depth of 110–120 cm has the following form: O – A – EL – ELBt – Bt – BtC – C. At the same time, noticeable geochemical barriers delaying the migration of heavy metals are noted in the horizon A and Bt. The obtained values of the studied elements were in the concentration ranges for Zn (5.4–12.8 mg/kg), Pb (2.1–7.4 mg/kg), Cd (0.031–0.081 mg/kg). Background concentrations are proposed: Zn – 8.3 mg/kg, Pb – 4.2 mg/kg, Cd – 0.053 mg/kg, which differ from the well-known values of world and domestic researchers presented in a comparative analysis and give a modern idea of the regional background content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils Ryazan region.

Keywords: geochemical barrier, sod-podzolic sandy loam soil, soil horizon, heavy metals, background concentrations

For citation: Pavlov A. A. Content of gross forms of zinc, lead and cadmium in sod-podzolic sandy loam soils of agricultural lands. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1138–1146. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1138-1146>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.04.2024, **date of review:** 16.05.2024, **date of acceptance:** 13.06.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Дерново-подзолистые почвы занимают пятую часть в структуре сельскохозяйственных площадей в Рязанской области, и их эффективное использование вносит существенный вклад в развитие экономики региона [1]. На исследуемой территории в настоящее время наблюдается интенсификация темпов техногенного воздействия на окружающую среду, и это приводит к широкомасштабному химическому загрязнению агроэкосистем. Большая часть тяжелых металлов поступает в почву за счет деятельности промышленных предприятий, сельскохозяйственных комплексов, развитой автотранспортной инфраструктуры вблизи населенных пунктов [2]. Повсеместное вовлечение природных ресурсов для интенсивного использования в промышленных целях способствует изменению биохимических циклов задействованных химических элементов [3]. По данным официальной статистики, на территории региона за последний год в ат-

мосферный воздух выброшены десятки тысяч тонн поллютантов, которые результате рассеивания из атмосферы попадают на поверхность почвы и водных объектов [4–6].

В Рязанской области к приоритетным тяжелым металлам относятся цинк, кадмий, свинец (I класс опасности); хром, никель, медь, кобальт, бор (II класс опасности); марганец, ванадий (III класс опасности) [5]. Основная часть тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду, попадает на поверхность почвы, которая обеспечивает выполнение экологических и барьерных функций, влияющих на биогеоценозы [5, 7, 8]. В отдельные годы в почвах области наблюдалось количество тяжелых металлов, превышающее фоновые показатели по свинцу, кадмию, цинку, меди и др. В этой связи в почве происходит бесконтрольное накопление тяжелых металлов, которое на фоне несоблюдения научно обоснованных технологий использования земель, в том числе дефицита внесения органиче-

ских удобрений, частичного отсутствия севооборота, приводит в первую очередь к снижению плодородия и продуктивности, к потере способности почвы сохранять свои экологические функции при антропогенном воздействии [9–13]. Дерново-подзолистая супесчаная почва в силу своих особенностей формирования и низкого по сравнению с другими почвами региона запаса органического вещества, микро- и макроэлементов является наиболее восприимчивой к такому сценарию развития событий.

Загрязнение сельскохозяйственных агроландшафтов имеет прямую связь с потенциальным риском для здоровья населения, так как высокие концентрации тяжелых металлов из почвы проникают в продукцию растениеводства, снижая качество товарной продукции. В этой связи осуществление своевременного мониторинга загрязнения используемых сельскохозяйственных земель является важной задачей [14; 15], а проведение оценки уровня загрязнения почв невозможно без использования современных фоновых значений содержания элементов конкретного региона, которые на сегодняшний день в Рязанской области отсутствуют или устарели. При выполнении оценки уровня загрязнения почв и расчете категории загрязнения чаще всего используются ориентировочные фоновые концентрации для средней полосы России. Таким образом, проведенная оценка загрязнения почв с использованием таких значений может не совсем точно отражать действительную картину загрязнения. Поэтому расчет фоновых концентраций для дерново-подзолистой супесчаной почвы является актуальным для условий Рязанской области.

Методология и методы исследования (Methods)

В основе методологии настоящих исследований лежат комплексный анализ полученных данных в ходе проведения полевых и лабораторных работ и аналитическое сравнение результатов исследований с данными других авторов. Исследования проведены в 2019–2022 годах на дерново-подзолистых

супесчаных почвах, получивших наибольшее распространение в северной и северо-восточной частях Рязанской области и простирающихся вдоль левого берега р. Оки. Почвообразующими породами исследуемых дерново-подзолистых супесчаных почв выступают водноледниковые и древнеаллювиальные отложения.

Места (точки) закладки шурфов и опробования почв располагались на землях сельскохозяйственного назначения вне зон локальных техногенных влияний, на достаточном расстоянии от населенных пунктов, с наветренной стороны, в отдалении от автомобильных магистралей. Точка № 1 определена в Рыбновском районе левобережья р. Оки (южнее с. Шехмино), точка № 2 в Спасском районе – левобережье р. Оки (близ д. Сумбулово – с. Новики), точка № 3 на границе Ермишинского и Касимовского районов – правобережье р. Оки (близ п. Лебяжий Бор – п. Игошино) (рис. 1). Почвенные горизонты исследуемых дерново-подзолистых супесчаных почв по окислительно-восстановительным параметрам характеризуются как окислительные, по кислотности – кислые.

Почвенные разрезы закладывались в местах отбора проб почвы и грунтов на содержание валовых форм цинка, свинца и кадмия с целью изучения почв, отбора проб и имели размеры 120 см – длина, 70 см – ширина и 150 см – глубина. Морфологическое строение профилей и описание генетических горизонтов представлено согласно действующей классификационной системе почв России. Отбор проб почв выполнялся на всю глубину почвенного профиля, включая почвообразующую породу, до 150 см от поверхности, с интервалом 10 см (на глубине 0–30 см), с интервалом 20 см (на глубине 30–150 см). Лабораторный анализ отобранных почвенных образцов с целью определения содержания валовых форм цинка, свинца и кадмия осуществлялся по методике М-МВИ-80-2008 в экоаналитической лаборатории. Сравнительный анализ

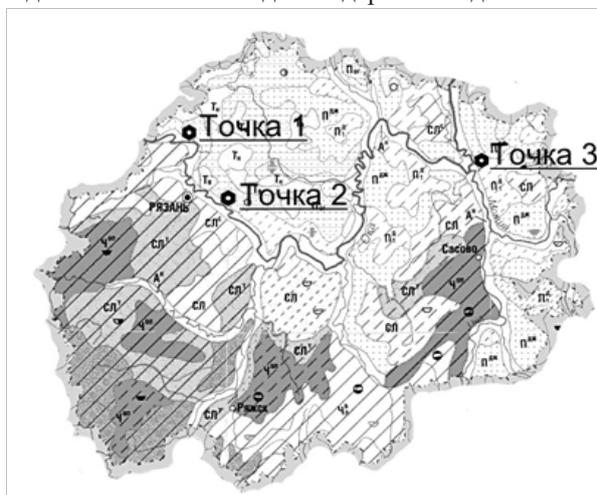


Рис. 1. Схема расположения точек опробования почв



Fig. 1. The layout of the soil sampling points

расчетного фонового значения, а также значений по интервалам выполнялся посредством сравнения с ориентировочными фоновыми концентрациями для средней полосы России по СП 502.1325800.2021 (ОФК), гигиеническими нормативами, характеризующими ориентировочную допустимую концентрацию вещества в почве по СанПиН 1.2.3685-21 (ОДК), с почвами мира по материалам международного геохимического атласа (ПМ), с почвами мира по А. П. Виноградову (ПМВ), с глобальными, зональными, региональными значениями фона по Ю. Е. Саету, а также с данными других исследователей на Рязанской земле.

Результаты (Results)

По результатам проведенных исследований было изучено и описано морфологическое строение почвенного профиля дерново-подзолистых супесчаных почв, которое представлено следующим образом: О – А – EL – ELBt – Bt – BtC – C. Профиль почвы сверху представлен дерном (О) слабой мощности 4–6 см. Гумусовый горизонт (А) сероватого, серовато-бурого оттенка, с пятнами ржавчины, по структуре непрочный, мелкий, с комками, супесчаный, с частыми корнями, мощностью 8–15 см, с заметным переходом. Элювиальный горизонт (EL) белесоватого цвета, плитчатый, с пятнами ржавчины, бесструктурный, рыхлый, супесчаный или песчаный, с редкими корнями, мощностью 20–32 см, с плавным переходом в переходный горизонт. Субэлювиальный горизонт (ELBt) от светлого до светловато-бурого цвета, плитчатый, с языковатыми внедрениями светлого цвета, рыхлый, супесчаный, мощностью 15–25 см, с плавным переходом. Иллювиальный горизонт (Bt) бурого цвета, с присутствием пятен глины и прослоями оглеения, влажный, плотный, супесчаный, мощностью 15–28 см со слабовидимым переходом. Переходный горизонт (BtC) бурого цвета с включениями светлого и желтого песка, комковатый, влажный, супесчаный, мощностью 12–30 см, с заметным переходом. Материнская порода (С) желтого цвета, сырая, супесчаная. Глубина почвенного слоя составила 110–120 см, ниже расположена материнская порода. В период проведения исследований грунтовые воды не вскрывались, визуальных признаков загрязнения и инородных предметов не встречалось.

По результатам проведенных химико-аналитических исследований в интервале до 150 см определено содержание поллютантов в следующих диапазонах: цинк (5,4–12,8 мг/кг), свинец (2,1–7,4 мг/кг), кадмий (0,031–0,081 мг/кг). Наибольшее содержание отмечено ближе к поверхности в верхнем слое, а в нижележащих слоях до 150 см наблюдается снижение концентрации. В материнской породе обнаружены минимальные концентрации по всем элементам. Такие вещества, как цинк, свинец, кадмий, вступают в связь с органическими веществами, тем

самым повышая устойчивость к вымыванию и создавая некий запас тяжелых металлов в слое почвы. Эта зависимость характерна в большей степени для свинца, в меньшей степени для цинка и кадмия [16].

Особенности миграции и трансформации исследуемых тяжелых металлов в почве во многом зависят от почвенных барьеров и условий, формирующихся в зависимости от окислительно-восстановительных и кислотно-основных параметров. Исследуемая почва характеризуется наличием в горизонте А (6–21 см) малоемкого биогеохимического органоинерального барьера, а горизонт Bt (80–108 см) выполняет функцию умеренно емкого физико-химического сорбционно-седиментационного барьера, что создает условия для аккумуляции исследуемых тяжелых металлов. По кислотно-основным условиям исследуемая почва относится к кислым, что может неблагоприятно сказываться на минеральных компонентах и развитии микроорганизмов-редуцентов, трансформирующих органические вещества на органические и неорганические соединения. Такие условия позволяют не задерживаться тяжелым металлам и слабо влияют на скорость миграции и трансформации.

Сравнительный анализ содержания элементов в почвенных слоях проводился по принципу разницы значений концентрации в рассматриваемом слое почвы с поверхностью почвы. Результаты анализа поинтервального содержания валовых форм кадмия, свинца, цинка в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах приведены в таблице 1.

Наибольшая концентрация цинка отмечена в верхнем слое почвы в интервалах 0–30 см со средним значением 11,9 мг/кг, далее в нижних слоях до 150 см содержание уменьшается до 6,5 мг/кг. Похожая зависимость складывается со свинцом, наибольшее содержание определено в интервале 0–20 см со средним значением 6,6 мг/кг, немного ниже, в диапазоне 20–90 см, концентрация составила 4,3 мг/кг, следующий шаг снижения концентрации – в диапазоне 90–150 см со средним значением 2,3 мг/кг. Аккумуляция кадмия происходит следующим образом: в интервале 0–30 см среднее значение составляет 0,073 мг/кг, в нижних слоях разреза до 150 см – 0,042 мг/кг. Сравнительный анализ послойного содержания цинка, свинца и кадмия свидетельствует о ярко выраженном биогеохимическом накоплении элементов в гумусовом горизонте и менее заметной аккумуляции в иллювиальном горизонте. Приоритетный ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в профиле до 150 см выглядит следующим образом: $Zn > Pb > Cd$.

Наименьшая концентрация цинка относительно поверхностного слоя почвы обнаружена в интервале 110–130 см со снижением на 7,39 мг/кг. Относительно поверхности почвы наибольшее содержание свинца определено в интервале 10–20 см с повы-

шением концентрации на 1,63 мг/кг. Одновременно наименьшая концентрация отмечена в интервале 90–110 см со снижением на 3,65 мг/кг. Наименьшая концентрация кадмия относительно поверхностного слоя почвы отмечена в интервале 50–70 см со снижением на 0,04 мг/кг. По результатам анализа послойного содержания поллютантов построены приоритетные ряды интервалов, представленные следующим образом:

Цинк: 0–10 > 20–30 > 10–20 > 130–150 > 30–50 > 90–110 > 50–70 > 70–90 > 110–130.

Свинец: 10–20 > 0–10 > 70–90 > 20–30 > 30–50 > 50–70 > 110–130 > 130–150 > 90–110.

Кадмий: 10–20 > 10–20 > 20–30 > 30–50 > 90–110 > 70–90 > 110–130 > 130–150 > 50–70.

По данным исследований содержания тяжелых металлов в различных интервалах были получены расчетные фоновые концентрации (таблица 2).

Сравнительный анализ полученных расчетных значений фоновых концентраций по всему исследуемому интервалу на дерново-подзолистой супесчаной почве показал, что расчетное фоновое значение цинка и свинца не превышает значения ориентиро-

вочных фоновых концентраций валовых форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве для средней полосы России и составляет по цинку 0,3 ОФК, по свинцу – 0,7 ОФК. Расчетный фон по кадмию, наоборот, превышает и составляет 1,1 ОФК. При интервальном сопоставлении по цинку наибольшая концентрация в интервале 0–10 см составляет 0,47 ОФК. У свинца наблюдается превышение в интервале 10–20 см и составляет 1,23 ОФК. У кадмия отмечено превышение в верхнем слое, наибольшее в 10–20 см – 1,65 ОФК.

Результаты определяемых валовых форм тяжелых металлов показали, что из изучаемых элементов не наблюдается превышений гигиенических нормативов по всем значениям. Расчетное значение фоновых концентраций по цинку – 0,15 ОДК, по свинцу – 0,13 ОДК, по кадмию – 0,1 ОДК. При интервальном анализе полученных значений и сопоставлении с ОДК наибольшее содержание установлено у цинка в интервале 0–10 см – 0,23 ОДК, у свинца в интервале 10–20 см – 0,23 ОДК, у кадмия в интервале 10–20 см – 0,16 ОДК.

Таблица 1

Результаты анализа поинтервального содержания валовых форм кадмия, свинца, цинка в дерново-подзолистых супесчаных почвах, мг/кг

№	Интервал, см	Показатели валовых форм тяжелых металлов, мг/кг					
		Zn		Pb		Cd	
		Содержание	Отклонение от верхнего интервала	Содержание	Отклонение от верхнего интервала	Содержание	Отклонение от верхнего интервала
1	0,0–10	12,8	–	5,8	–	0,071	–
2	10–20	11,0	1,8	7,4	–1,6	0,081	–0,010
3	20–30	12,0	0,8	4,3	1,5	0,071	0
4	30–50	7,1	5,7	4,2	1,6	0,051	0,020
5	50–70	5,9	6,9	4,2	1,6	0,031	0,040
6	70–90	5,8	7,0	4,6	1,2	0,042	0,029
7	90–110	6,8	6,0	2,1	3,7	0,051	0,020
8	110–130	5,4	7,4	2,5	3,3	0,041	0,030

Table 1

The results of the analysis of the interval content of gross forms of cadmium, lead, zinc in sod-podzolic sandy loam soils, mg/kg

№	Interval, cm	Indicators of gross forms of heavy metals, mg/kg					
		Zn		Pb		Cd	
		Contents	Deviation from the upper interval	Contents	Deviation from the upper interval	Contents	Deviation from the upper interval
1	0.0–10	12.8	–	5.8	–	0.071	–
2	10–20	11.0	1.8	7.4	–1.6	0.081	–0.010
3	20–30	12.0	0.8	4.3	1.5	0.071	0
4	30–50	7.1	5.7	4.2	1.6	0.051	0.020
5	50–70	5.9	6.9	4.2	1.6	0.031	0.040
6	70–90	5.8	7.0	4.6	1.2	0.042	0.029
7	90–110	6.8	6.0	2.1	3.7	0.051	0.020
8	110–130	5.4	7.4	2.5	3.3	0.041	0.030

Сравнительная оценка содержания валовых форм тяжелых, мг/кг

№	Источник	Показатели валовых форм тяжелых металлов		
		Zn	Pb	Cd
1	Предлагаемые расчетные фоновые концентрации	8,3	4,2	0,053
2	Ориентировочные фоновые концентрации по СП 502.1325800.2021 (ОФК)	28	6	0,05
3	Гигиенический норматив по СанПиН 1.2.3685-21	55	32	0,5
4	Почвы мира по материалам международного геохимического атласа (ПМ)	70	17	0,3
5	Почвы мира по А. П. Виноградову (ПМВ)	50	–	–
6	Почвы по Шаклетту и Борнгену	58	–	–
Глобальные оценки фона по Ю. Е. Саеу (ГО)				
7	Кларк в земной коре	83	16,0	0,13
8	Осадочные породы	80	20,0	0,3
9	Почвы мира	50	10,0	0,5
Зональные оценки фона по Ю. Е. Саеу (ЗО)				
10	СССР, дерново-подзолистые	41,3	11,5	0,7
Региональные оценки фона по Ю. Е. Саеу (РО)				
11	Московская область, дерново-подзолистые	50,0	25,0	0,3
12	Региональный фон по данным других исследователей (2002–2003 гг.)	35	12	0,18

Table 2
Comparative assessment of the content of gross forms of heavy, mg/kg

No.	Source	Indicators of gross forms of heavy metals		
		Zn	Pb	Cd
1	<i>Proposed calculated background concentrations</i>	8.3	4.2	0.053
2	<i>Approximate background concentrations SP 502.1325800.2021. (OFC)</i>	28	6	0.05
3	<i>Hygienic standard SanPiN 1.2.3685-21</i>	55	32	0.5
4	<i>Soils of the world based on materials from the international geochemical atlas (PM)</i>	70	17	0.3
5	<i>Soils of the world according to Vinogradov A.P.(PMV)</i>	50	–	–
6	<i>Soils according to Shacklett and Borngen</i>	58	–	–
Global background estimates according to Yu. A. Saet (GE)				
7	<i>Clark in the Earth's crust</i>	83	16.0	0.13
8	<i>Sedimentary rocks</i>	80	20.0	0.3
9	<i>The soils of the world</i>	50	10.0	0.5
Zonal background estimates according to Yu. A. Saet (ZE)				
10	<i>USSR, sod-podzolic</i>	41.3	11.5	0.7
Regional background estimates according to Yu. A. Saet (RE)				
11	<i>Moscow region, sod-podzolic</i>	50.0	25.0	0.3
12	<i>Regional Fund according to other researchers (2002–2003)</i>	35	12	0.18

Значения содержания тяжелых металлов в почвах мира весьма разнообразны, в основном это связано с географическим расположением, удаленностью участков исследований друг от друга, почвообразующими породами, разными периодами наблюдений, отличиями в методиках определения элементов, особенностями техногенных нагрузок исследуемых территорий и прочим. Так, например значение цинка по разным источникам разнится в диапазоне 50–70 мг/кг. При сопоставлении полу-

ченных расчетных значений фоновых концентраций тяжелых металлов со значениями почв мира, в частности, Северной Европы, отмечено, что в дерново-подзолистой почве Рязанской области содержание исследуемых элементов цинка, свинца, кадмия значительно ниже. Расчетное значение фоновых концентраций по цинку – 0,11 ПМ, по свинцу – 0,24 ПМ, по кадмию – 0,18 ПМ. При интервальном сравнении полученных фоновых значений и сопоставлении с ПМ определено, что у цинка в

интервале 0–10 см – 0,18 ПМ, у свинца в интервале 10–20 см – 0,43 ПМ, у кадмия в интервале 10–20 см – 0,27 ПМ.

Сравнительный анализ расчетных фоновых значений с зональными оценками фона по Ю. А. Саету показывает, что расчетный фон элементов значительно ниже и составляет по цинку 0,2 ЗО, по свинцу – 0,36 ЗО, по кадмию – 0,07 ЗО. При сравнении с глобальными оценками почв мира расчетный фон ниже и составляет по цинку 0,17 ГО, по свинцу – 0,42 ГО, по кадмию – 0,11 ГО. При сравнении с региональными оценками (в частности, почвы Московской области) расчетный фон ниже и составляет по цинку 0,16 РО, по свинцу – 0,17 РО, по кадмию – 0,18 РО.

На территории Рязанской области в разное время проводились исследования содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистой супесчаной почве. Полученные значения сопоставимы с ранее полученными данными, где также была отмечена в целом низкая концентрация тяжелых металлов в дерново-подзолистых супесчаных почвах в сравнении с почвами с глинистого гранулометрического состава примерно в 4–5 раз.

Исследуемые поллютанты аккумулировались в верхней части профиля. Так, содержание в супесчаных почвах было соизмеримо с полученными в опытах значениями, а различия наблюдались в сопоставимых интервалах почвы по цинку от 0,05 до 2,4 мг/кг, по свинцу – от 0,01 до 0,02 мг/кг, по кадмию – от 0,001 до 0,003 мг/кг.

Таким образом, расчетные значения фоновых концентраций дерново-подзолистых супесчаных почв в целом ниже фоновых значений, представленных в сравнительном анализе (таблица 2). Дерново-подзолистые супесчаные почвы ввиду своих структурных особенностей в естественных условиях характеризуются низким содержанием тяжелых металлов относительно других почв области. Наибольшие концентрации свинца, цинка и кадмия отмечаются в горизонтах А, Вt, выполняющих функции геохимических барьеров, и способствуют увеличению геохимической устойчивости дерно-

во-подзолистых супесчаных почв. Распределение тяжелых металлов в слоях дерново-подзолистой супесчаной почвы Рязанской области также зависит от механического состава, интенсивности антропогенной нагрузки и свойств генетических горизонтов почв.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выращивание сельскохозяйственных культур на землях, подверженных сильному загрязнению тяжелыми металлами, приводит к ухудшению качества сельскохозяйственной продукции и кормов. В этой связи проведение мониторинговых наблюдений за содержанием тяжелых металлов с целью предупреждения и выявления необходимости профилактических мероприятий по детоксикации загрязненных почв является важной задачей сельхозпроизводителей.

Полученные результаты настоящих исследований дают современное представление о региональном фоновом содержании валовых форм цинка, свинца и кадмия в дерново-подзолистых супесчаных почвах сельскохозяйственных земель обследуемых территорий в Рязанской области и могут быть использованы при оценке антропогенного воздействия на почву и научно-методическом обосновании природовосстановительных мероприятий.

Представленная характеристика содержания тяжелых металлов в профиле почв свидетельствует о наибольшем накоплении исследуемых элементов в дерновом и гумусовом горизонтах, при этом расчетные фоновые концентрации составляют всего 10–15 % от установленных гигиенических нормативов. Сравнительная оценка предлагаемых фоновых концентраций с общеизвестными фоновыми концентрациями позволяет сделать вывод о том, что текущее содержание исследуемых элементов в дерново-подзолистых супесчаных почвах Рязанской области находится на низком уровне. Использование в расчетах уровня загрязнения (Zc) предложенных фоновых концентраций повысит точность определений и снизит вероятность ошибочного отнесения почвы к «чистой» категории.

Библиографический список

1. Харлашкин А. С. Риски при вовлечении в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель в обеспечении экономической безопасности Рязанской области // Нацразвитие. Наука и образование. 2022. № 8 (11). С. 14–21. DOI: 10.37539/2782-3075.2022.11.8.002.
2. Борисочкина Т. И., Когут Б. М., Хаматнуров Ш. А. Эколого-геохимическое состояние почв и грунтов зеленых насаждений Москвы (аналитический обзор) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. № 109. С. 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164.
3. Kosheleva N. E., Terskaya E. V., Kuzminskaya N. Y. Distribution of Heavy Metals and Metalloids in Soil Catenas in Serpukhov // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54, No. 8. Pp. 1281–1297. DOI: 10.1134/S1064229321080111.
4. Глызин М. Д., Лопаева Н. Л. Влияние токсических веществ на загрязнение почвы [Электронный ресурс] // Молодежь и наука. 2023. № 2. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53951796> (дата обращения: 15.03.2024).

5. Павлов А. А., Мажайский Ю. А. Определение фоновых концентраций почвенных элементов в серой лесной почве Рязанской области // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14, № 4. С. 33–40. DOI: 10.36508/RSATU.2022.35.33.006.
6. Васильева Т. Н., Галактионова Л. В. Оценка состояния урбаноземов по содержанию поллютантов // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11.
7. Васин Д. В. Особенности накопления тяжелых металлов в разных типах почв (на примере Ульяновской области) // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 62–67. DOI: 10.17513/use.37642.
8. Ларионов Ю. С., Жарников В. Б., Трубина Л. К. О содержании, технологиях и результатах мониторинга сельскохозяйственных угодий в прогрессивных системах земледелия // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов V Национальной научно-практической конференции. В 3 частях. Ч. 2. Новосибирск, 2022. № 2. С. 119–127. DOI: 10.33764/2687-041X-2022-2-119-127.
9. Kicińska A., Pomykała R., Izquierdo-Diaz M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils // European Journal of Soil Science. 2021. No. 73. DOI: 10.1111/ejss.13203.
10. Солодухина М. А., Михеев И. Е., Банщикова Е. А., Желибо Т. В. Тяжелые металлы и мышьяк в дикорастущих растениях и растениеводческой продукции БалеЙского рудного поля (Забайкальский край) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2. С. 95–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95.
11. Терехова В. А., Прудникова Е. В., Кирюшина А. П., Карпучин М. М., Плеханова И. О., Якименко О. С. Фитотоксичность тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Почвоведение. 2021. № 6. С. 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137.
12. Мажайский Ю. А., Павлов А. А. Влияние гуминового препарата на плодородие залежных земель и урожайность кормовых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 4 (48). С. 32–40. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005.
13. Мажайский Ю. А., Павлов А. А. Способ освоения залежных земель Нечерноземной зоны при выращивании кормовых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 3 (47). С. 138–143. DOI: 10.36508/RSATU.2020.11.68.024.
14. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М., Духанин Ю. А. Загрязнение и пригодность почв для выращивания экологически чистой сельскохозяйственной продукции в РФ // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2024. № 118. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-5-20.
15. Li M., Zhou H., Li X., Pang L., Zhao Z., Liu Zh. Remediation of Contaminated Soil with Compound Heavy Metals Using an Array-Electrode Electrokinetics Coupled with Permeable Reactive Barrier System with Different Electrolytes // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55, No. 12. Pp. 1939–1953. DOI: 10.1134/s1064229322601469.
16. Воробьев В. Б., Казакевич Н.А. О взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов и гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 103–107.

Об авторе:

Артем Андреевич Павлов, кандидат биологических наук, научный сотрудник научного подразделения, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-5932-1624, AuthorID 1141178. E-mail: kupo@mail.ru

References

1. Kharlashkin A. S. Risks of involving unused agricultural land in the turnover in ensuring the economic security of the Ryazan region. *Natsrazvitie. Nauka i obrazovanie*. 2022; 8 (11): 14–21. DOI: 10.37539/2782-3075.2022.11.8.002. (In Russ.)
2. Borisochkina T. I., Kogut B. M., Khamatnurov Sh. A. Ecological and geochemical state of soils and grounds of Moscow green spaces (analytical review). *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2021; 109: 129–164. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-129-164. (In Russ.)
3. Kosheleva N. E., Terskaya E. V., Kuzminskaya N. Y. Distribution of Heavy Metals and Metalloids in Soil Catenas in Serpukhov. *Eurasian Soil Science*. 2021; 54 (8): 1281–1297. DOI: 10.1134/S1064229321080111.
4. Glyzin M. D., Lopaeva N. L. The influence of toxic substances on soil pollution. *Youth and Science* [Internet]. 2023 [cited 2024 Mar 15]; 2. Available from: URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53951796>.
5. Pavlov A. A., Mazhayskiy Yu. A. Determination of background concentrations of soil elements in gray forest soil of the Ryazan region. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2022; 14 (4): 33–40. DOI: 10.36508/RSATU.2022.35.33.006. (In Russ.)

6. Vasil'eva T. N., Galaktionova L. V. Assessment of the state of urban soils based on the content of pollutants. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (12): 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11. (In Russ.)
7. Vasin D. V. Features of accumulation of heavy metals in different types of soils (on the example of the Ulyanovsk region). *Advances in Current Natural Sciences*. 2021; 6: 62–67. DOI: 10.17513/use.37642. (In Russ.)
8. Larionov Yu. S., Zharnikov V. B., Trubina L. K. About the content, technologies and results of monitoring of agricultural lands in progressive farming systems. *Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Assessment, Ecology, Technological Solutions: collection of materials of the V National scientific and practical conference. In 3 Parts. Part 2. Novosibirsk*, 2022; 2: 119–127. DOI: 10.33764/2687-041X-2022-2-119-127. (In Russ.)
9. Kicińska A., Pomykała R., Izquierdo-Diaz M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*. 2021; 73. DOI: 10.1111/ejss.13203.
10. Solodukhina M. A., Mikheev I. E., Banshchikova E. A., Zhelibov T. V. Heavy metals and arsenic in wild plants and plant products of the Baleysky ore field (Zabaykalsky krai). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15 (2): 95–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_95. (In Russ.)
11. Terekhova V. A., Prudnikova E. V., Kiryushina A. P., Karpukhin M. M., Plekhanova I. O., Yakimenko O. S. Phytotoxicity of heavy metals in contaminated podzolic soils of different fertility levels. *Eurasian Soil Science*. 2021; 6: 757–768. DOI: 10.31857/S0032180X21060137. (In Russ.)
12. Mazhayskiy Yu. A., Pavlov A. A. The effect of a humic preparation on fertility of fallow land and yield of fodder crops. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2020; 4 (48): 32–40. DOI: 10.36508/RSATU.2020.48.4.005. (In Russ.)
13. Mazhayskiy Yu. A., Pavlov A. A. Method for development of long-fallow lands in the non-black earth zone when growing fodder crops. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2020; 3 (47): 138–143. DOI: 10.36508/RSATU.2020.11.68.024. (In Russ.)
14. Ivanov A. L., Stolbovoy V. S., Grebennikov A. M., Dukhanin Yu. A. Contamination and suitability of soils for growing bio products in Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024; 118: 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-5-20. (In Russ.)
15. Li M., Zhou H., Li X., Pang L., Zhao Z., Liu Zh. Remediation of Contaminated Soil with Compound Heavy Metals Using an Array-Electrode Electrokinetics Coupled with Permeable Reactive Barrier System with Different Electrolytes. *Eurasian Soil Science*. 2022; 55 (12): 1939–1953. DOI: 10.1134/s1064229322601469.
16. Vorob'ev V. B., Kazakevich N. A. On the relationship between the content of heavy metals and humus in soddy-podzolic light loamy soil. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022; 4: 103–107. (In Russ.)

Author's information:

Artem A. Pavlov, candidate of biological sciences, researcher, scientific department, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-5932-1624, AuthorID 1141178. *E-mail*: kupo@mail.ru

Значение предшественников и минерального питания в формировании урожайности и качества ярового ячменя в Пермском крае

С. С. Полякова^{1,2✉}, Д. С. Фомин¹, Н. Н. Яркова², Дм. С. Фомин¹

¹Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

²Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова Пермь, Россия

✉E-mail: ss.polyakova@yandex.ru

Аннотация. Цель – оценить влияние предшественников и фонов минерального питания на урожайность и качество зерна и семян ярового ячменя в условиях Среднего Предуралья. **Методы.** Исследования проводились на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в Пермском НИИСХ – филиале Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук в течение 2021–2023 гг. Проведен двухфакторный полевой опыт с различными предшественниками и фонами минерального питания. Данные обрабатывались согласно методам Б. А. Доспехова, а качество зерна определялось согласно стандартным методикам. **Результаты.** Лимитирующим фактором, влияющим на формирование растений и их урожайность, является запас продуктивной влаги в почве, которая определяет, как величину, так и качество урожая. Проведенные исследования выявили, что почва под вико-овсяной смесью обладала наибольшим запасом продуктивной влаги в начале вегетационного периода, в то время как к его концу наибольший запас отмечался под клевером 2 г. п. В годы исследований наблюдалось наибольшее иссушение почвы после ячменя, что может быть обусловлено меньшей площадью продуктивного покрытия этой культуры на почве. Изучение всхожести семян ярового ячменя показало их соответствие стандартам. Лучший показатель всхожести был у семян, выращенных после вико-овсяной смеси (95 %), в то время как худший результат был у семян ячменя посеянных по ячменю (92 %). Показано, что оптимальный выбор предшественника и фона питания способствует увеличению урожайности и улучшению качества зерна. Урожайность ячменя варьировала в широком диапазоне, от 1,06 до 3,77 тонны на 1 га. Результаты исследования показывают, что использование вико-овса в качестве предшественника обеспечивает наилучшие показатели урожайности и качества ячменя. Оптимальное сочетание предшественника и фона минерального питания может значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства ячменя. **Научная новизна.** Комплексное влияние удобрений и предшественников на формирование продуктивности и качества ячменя изучается впервые в Пермском крае. Изучаемые приемы управления качеством и урожайностью ячменя позволяют получать высокопродуктивные семена и достигать планируемой урожайности.

Ключевые слова: метеорологические условия, яровой ячмень, урожайность, минеральное питание, предшественники, запасы продуктивной влаги, содержание протеина, масса 1000 зерен

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122032200247-7). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Полякова С. С., Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Фомин Д. С. Значение предшественников и минерального питания в формировании урожайности и качества ярового ячменя в Пермском крае // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1147–1157. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1147-1157>.

Дата поступления статьи: 02.05.2024, **дата рецензирования:** 11.06.2024, **дата принятия:** 24.07.2024.

The importance of previous crops and mineral nutrition in the formation of yield and quality of spring barley in the Perm Region

S. S. Polyakova^{1, 2✉}, D. S. Fomin¹, N. N. Yarkova², Dm. S. Fomin¹

¹ Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

² Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

✉E-mail: ss.polyakova@yandex.ru

Агротехнологии

Abstract. The purpose is to evaluate the influence of previous culture and mineral nutrition on the yield and quality of grain and seeds of spring barley in the conditions of the Middle Urals. **Methods.** The research was conducted in Perm Agricultural Research Institute (division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences) during the period 2021–2023 on sod-podzolic heavy loam soil. Two-factor field experiment with different previous culture and mineral nutrition backgrounds was carried out. Data were processed using B. A. Dospelkhov's methods, and grain quality was determined using standard techniques. **Results.** The limiting factor affecting plant growth and productivity is soil moisture, which influences both the size and quality of crops. Studies have shown that the soil under vetch-oat mixtures had the highest level of productive moisture at the start of the growing season. However, by the end of the season, the highest level was found under clover. During the research period, the most significant decrease in soil moisture was observed after barley, possibly due to the smaller surface area covered by this crop. The study of barley seed germination showed that they met the required standards. Seeds grown after vetch-oat had the best germination rate (95 %), while those preceding barley had the worst (92 %). This suggests that choosing the right preceding crop and providing optimal nutrition can lead to increased yield and improved grain quality. The yield of barley can vary widely, ranging from 1.06 to 3.77 tons per hectare. The study results show that using vetch-oat as a preceding crop can provide the best indicators for barley yield and quality. The optimal combination of preceding crop and mineral nutrient background can significantly improve the efficiency of barley production in agriculture. **Scientific novelty.** The complex effect of fertilizers and preceding crop substances on the formation of barley productivity and quality is being studied in the Perm Region for the first time. The methods of barley management and quality control studied allow for obtaining highly productive seeds and achieve the planned yield.

Keywords: meteorological conditions, spring barley, yield, mineral nutrition, previous crops, reserves of productive moisture, protein content, weight of 1000 grains

Acknowledgements. The research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the (theme No. 122032200247-7). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Polyakova S. S., Fomin D. S., Yarkova N. N., Fomin Dm. S. The role of preceding crops and mineral nutrition in the formation of yield and quality of spring barley in the Perm Region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1147–1157. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1147-1157>. (In Russ.)

Date of paper submission: 02.05.2024, **date of review:** 11.06.2024, **date of acceptance:** 24.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Основной целью современного сельского хозяйства на Среднем Предуралье является увеличение производства зерна высокого качества, а также улучшение качества семенного материала, в частности, ячменя. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) ценится за свои высокие качественные характеристики, широкий спектр использования и высокую потенциальную урожайность. Эта зерновая культура играет важную роль в различных отраслях, включая производство продуктов питания, технических ма-

териалов и кормов для животных. Благодаря выращиванию ячменя регион может значительно укрепить свою продовольственную безопасность [1–3].

Яровой ячмень обладает высокой урожайностью и хорошо реагирует на применение минеральных удобрений. Однако в сельскохозяйственных предприятиях нашего региона средняя урожайность этой культуры составляет всего 2,2 тонны с гектара, что составляет лишь 50–60 % от ее возможного потенциала. Для увеличения урожайности ячменя необходимо разработать технологию, основанную

на интенсификации воздействия как биологических, так и антропогенных факторов. Технология должна быть максимально адаптирована к местным условиям, способствуя увеличению урожайности и улучшению качества продукции, а также оказывать положительное влияние на состояние почвы и окружающей среды. Исследования показывают, что почвы данного региона обладают оптимальным плодородием и гранулометрическим составом для достижения высокой урожайности ярового ячменя. Это означает, что при использовании адаптированных сортов можно получить не менее 3 тонн зерна с 1 га [4].

В нашем регионе проблему низкой урожайности сельскохозяйственных культур можно решить путем внедрения адаптивных технологий возделывания. Эти технологии включают в себя важные технические приемы, выбор наилучших предшественников и оптимальные дозы минеральных удобрений. Такие меры помогают сохранить влагу в почве и повысить урожайность растений. Эффективность таких подходов проявляется в развитии более сильной корневой системы, увеличении фотосинтетической активности и повышении устойчивости сельскохозяйственных культур к стрессовым факторам окружающей среды. Качество зерна зависит как от почвенно-климатических условий, так и от особенностей сортов. Исследования показывают, что различные агротехнические приемы, включая использование минеральных удобрений, могут значительно влиять на качество зерна ячменя. Например, совместное использование азотных, фосфорных и калийных удобрений может снизить содержание белка в зерне на 0,5–0,6 %, при этом увеличивая его размер. Внесение азотных удобрений, наоборот, увеличивает содержание белка в зерне, но влияние на массу 1000 зерен неоднозначно. В контексте почвенно-климатических условий нашего региона решение этих вопросов становится особенно актуальным. Определение оптимальных доз минеральных удобрений и предшественников для ярового ячменя требует научного обоснования.

Целью исследований является изучение влияния различных доз минеральных удобрений на свойства почвы, урожайность и качество ячменя в условиях типичного полевого зернотравянопарового севооборота.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена в Пермском НИИСХ - филиале Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук в 2021–2023 гг. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, мощность пахотного слоя – 20 см, содержание гумуса – 2,6 % (по Тюрину), подвижных соединений фосфора и калия – 557 и 322 мг/кг (по Чирикову), pH_{KCl} – 5,13 (ГОСТ 26483-85), Нг – 3,00 мг·экв / 100 г почвы (по

Каппену). Объектом исследований был районированный, ценный по качеству сорт ярового ячменя Родник Прикамья. Полевой опыт двухфакторный: предшественник (фактор А) – клевер 1 г. п., клевер 2 г. п., вико-овсяная смесь, яровая пшеница и ячмень; фон минерального питания (фактор В) – без удобрений, N_{60} , $P_{30}K_{60}$, $N_{60}P_{30}K_{60}$. Повторность вариантов опыта трехкратная. Площадь делянки для фактора А (предшественник) – 1800 м², для фактора В (фон питания) – 150 м².

Агротехника культур включала в себя зяблевую вспашку оборотным плугом KUNN MULTI MASTER 113 NSH-5, ранневесеннее боронование боронами БЗСТ-1, предпосевную культивацию универсальным культиватором КБМ-8П, посев сеялкой Amazone D9-4000, послепосевное прикатывание катками ЗКК-8. Минеральные удобрения вносили согласно схеме опыта под предпосевную культивацию ячменя в виде аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия. Уборку зерновых проводили при полной спелости комбайном Samro SR-2010, многолетних трав – в фазе цветения методом площадок.

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89)¹, качество зерна – согласно методикам «Методические рекомендации по оценке качества зерна» (Москва, 1977)², белок – ГОСТ 10846-91³, масса 1000 зерен – ГОСТ 12042-80⁴, жизнеспособность семян – тетразолюно-топографическим методом, лабораторная всхожесть – ГОСТ 12038-84⁵.

Экспериментальные данные подвергались математической и статистической обработке по Б. А. Доспехову (1985)⁶.

Результаты (Results)

Агроклиматические условия в Пермском крае претерпевают изменения, однако в последние годы можно выделить общие черты – недостаток влаги и избыток тепла в период вегетации растений, что определяет потенциальный уровень возможного урожая культурных растений, в том числе и ярового ячменя. Данная тенденция подтверждается собственными наблюдениями в течение периода исследований 2021–2023 гг. и наблюдениями Ги-

¹ ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Москва: Стандартинформ, 2006. 8 с.

² Методические рекомендации по оценке качества зерна / А. А. Созинов, Н. И. Блохин, И. И. Василенко [и др.]. Москва, 1977. 172 с.

³ ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ, 2009. 8 с.

⁴ ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. Москва: Стандартинформ, 2011. 4 с.

⁵ ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Стандартинформ, 2011. 31 с.

⁶ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 350 с.

дрометцентра⁷. Метеорологические условия вегетационного периода значительно различались по годам и от среднемноголетних данных (таблица 1).

В целом засушливыми условиями в вегетационный период характеризовались 2022 и 2023 гг., когда сумма осадков составила 197 и 162 мм соответственно, при среднемноголетних значениях 286 мм, тем не менее, оптимальным по количеству осадков являлся 2021 г. - 296 мм (таблица 1).

Общеизвестно, что одним из лимитирующих факторов, влияющих на формирование растений, их рост и развитие, является запас продуктивной влаги, влияющая на конечный показатель – величину и качество получаемого урожая. В исследованиях, проведенных с 2021 по 2023 гг., выявлено, что в начале вегетационного периода наибольшим запасом продуктивной влаги обладала почва с предшествующими ячменю следующими культурами: вико-овсяная смесь и яровая пшеница, в конце вегетации – клевер 2 г. п. (контроль). Наибольшее иссушение почвы в годы исследований наблюдалось по ячменю как предшественнику, к началу вегетации запас составил 57 мм, к концу вегетации – 44 мм на глубине 0–30 см (таблица 2), что объясняется меньшей площадью продуктивного покрытия растениями почвы.

Севооборот играет ключевую роль в агроклиматических условиях Пермского края, поскольку он способствует не только снижению риска уро-

жайных потерь, но и увеличению накопления питательных элементов в растительной продукции (таблица 3). В этом контексте эффективное управление севооборотом может оказаться важным инструментом для борьбы с неблагоприятными изменениями в климате и метеорологических условиях. Разнообразие культур в севообороте позволяет не только улучшить структуру почвы, но и повысить ее плодородие за счет более полного использования питательных веществ. Оптимизация севооборота и выбор оптимального предшественника может способствовать устойчивому росту урожайности и качества сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата.

Известно, что многолетние травы не только служат источником корма, но и способствуют увеличению плодородия почвы и повышению урожайности последующих сельскохозяйственных культур в севообороте. Количество органической биомассы, вносимой в почву корневыми и пожнивными остатками многолетних трав, при благоприятных погодных условиях в 3–5 раз превосходит количество, оставляемое однолетними культурами.

Важно также проводить дополнительные исследования, чтобы более глубоко понять, какие культуры и комбинации культур наиболее эффективны в конкретных климатических условиях Пермского края.

Таблица 1
Метеорологические условия, 2021–2023 гг.

Показатель	Год	Месяцы					Среднее за вегетацию
		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	
Температура воздуха, °С	2021	5,4	16,3	18,8	18,5	18,6	15,5
	2022	5,0	9,4	14,7	20,1	19,4	13,7
	2023	5,9	15,0	14,4	20,7	17,6	14,7
Среднемноголетнее		3,5	13,0	16,5	18,6	15,3	–
Сумма осадков, мм	2021	40	23	65	144	24	296
	2022	43	65	69	8	12	197
	2023	5	23	22	51	61	162
Среднемноголетнее		36	17	81	70	76	286

Table 1
Meteorological conditions, 2021–2023

Indicator	Year	Months					Average for the growing season
		April	May	June	July	August	
Air temperature, °C	2021	5.4	16.3	18.8	18.5	18.6	15.5
	2022	5.0	9.4	14.7	20.1	19.4	13.7
	2023	5.9	15.0	14.4	20.7	17.6	14.7
Average annual		3.5	13.0	16.5	18.6	15.3	-
Precipitation amount, mm	2021	40	23	65	144	24	296
	2022	43	65	69	8	12	197
	2023	5	23	22	51	61	162
Average annual		36	17	81	70	76	286

⁷ Официальный сайт Пермского ЦГМС. URL: <https://meteo.perm.ru> (дата обращения: 18.04.2023).

Таблица 2
Запасы продуктивной влаги перед посевом и во время уборки ярового ячменя
в среднем за 2021–2023 гг., мм

Предшественник	Начало вегетации		Конец вегетации	
	0–30	0–100	0–30	0–100
Клевер 2 г. п. (контроль)	62	190	59	201
Клевер 1 г. п.	66	210	55	186
Яровая пшеница	69	223	56	189
Вика + овес	72	236	54	184
Ячмень	57	201	44	149

Table 2
Reserves of productive moisture before sowing and during harvesting of spring barley
average for 2021–2023, cm

Previous crop	Beginning of vegetation period		The end of the growing season	
	0–30	0–100	0–30	0–100
Clover of the second year of use (control)	62	190	59	201
Clover of the first year of use	66	210	55	186
Spring wheat	69	223	56	189
Vetch + oat	72	236	54	184
Barley	57	201	44	149

Таблица 3
Содержание белка в зерне ячменя в зависимости от предшественника и фонов минерального
питания, среднее за 2021–2023 гг., %

Предшественник (А)	Фон минерального питания (В)				Среднее
	0	N ₆₀	P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	
Клевер 2 г. п. (контроль)	15,62	15,62	13,75	14,37	14,84
Клевер 1 г. п.	14,37	15,10	14,38	13,70	14,39
Яровая пшеница	13,75	15,63	14,34	13,70	14,36
Вика + овес	16,13	16,13	14,73	15,13	15,53
Ячмень	9,50	12,57	10,75	11,17	11,00
Среднее	13,87	15,01	13,59	13,61	14,02
НСР ₀₅ главных эффектов	А			0,96	
	В			0,13	
НСР ₀₅ частных различий	А			1,92	
	В			0,28	

Table 3
The protein content in barley grain, depending on the previous crop and mineral nutrition backgrounds,
average for 2021–2023, %

Previous crop (A)	Background of mineral nutrition (B)				Average
	0	N ₆₀	P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	
Clover of the second year of use (control)	15.62	15.62	13.75	14.37	14.84
Clover of the first year of use	14.37	15.10	14.38	13.70	14.39
Spring wheat	13.75	15.63	14.34	13.70	14.36
Vetch + oat	16.13	16.13	14.73	15.13	15.53
Barley	9.50	12.57	10.75	11.17	11.00
Average	13.87	15.01	13.59	13.61	14.02
LSD ₀₅ the main effects	A			0.96	
	B			0.13	
LSD ₀₅ particular differences	A			1.92	
	B			0.28	

Белковость зерна ячменя в среднем по предшественникам составила 11,00–15,53 %. Вико-овсяная смесь как предшественник дает наибольшую из всех других предшествующих ячменю культур несущественную прибавку белка в зерне. Ячмень как предшествующая культура существенно снижает содержание белка, особенно низок белок в варианте без внесения минерального питания (9,5 %). Фоны минерального питания оказывают различное влияние на показатель содержания белка в зерне, вариант с внесением только азота дает существенную прибавку к содержанию белка в зерне ячменя, комплексные удобрения не оказали существенного влияния на содержания белка в зерне. В целом варьирование содержания белка в зерне ячменя доказывает возможность возделывания ячменя в почвенно-климатических условиях Пермского края не только на кормовые цели, но и на продовольственные, т. к. показатель содержания белка в зерне ячменя регламентируется ГОСТом и в зависимости от

величины данного показателя определяется целевое назначение полученной продукции.

Посевные качества семян играют ключевую роль в успешном сельскохозяйственном производстве по нескольким причинам: качественные семена обеспечивают дружные всходы, высокую урожайность, семена с хорошими посевными качествами лучше выдерживают стрессовые условия, такие как засуха или засоление почвы, что помогает уменьшить риск потерь урожая из-за неблагоприятных условий, экономятся ресурсы, такие как время, труд и удобрения, а высокая всхожесть семян означает меньшее их количество, необходимое для посева.

Более того, наблюдение за посевными качествами семян позволяет отслеживать динамику и изменения в качестве семенного материала, что важно для постоянного улучшения и совершенствования производственных процессов и методов выращивания сельскохозяйственных культур.

Таблица 4
Влияние предшественника и фона питания на посевные качества семян ячменя, среднее за 2021–2023

Предшественник (А)	Фон минерального питания (В)	Жизнеспособность, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Масса 1000 семян, г
Клевер 2 г. п. (контроль)	0	94	87	93	50,8
	N ₆₀	93	88	93	49,6
	P ₃₀ K ₆₀	94	87	92	49,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	95	87	94	51,2
Среднее по A ₁		94	87	93	49,7
Клевер 1 г. п.	0	95	86	91	49,8
	N ₆₀	94	86	94	45,6
	P ₃₀ K ₆₀	94	87	92	48,8
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	94	88	93	49,7
Среднее по A ₂		94	87	93	48,5
Яровая пшеница	0	93	86	93	33,2
	N ₆₀	93	86	93	41,6
	P ₃₀ K ₆₀	93	86	93	40,3
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	94	88	94	45,2
Среднее по A ₃		93	87	93	40,0
Вико-овёс	0	96	88	95	35,2
	N ₆₀	97	88	96	48,9
	P ₃₀ K ₆₀	95	88	93	47,0
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	97	88	95	51,0
Среднее по A ₄		96	88	95	45,5
Ячмень	0	91	84	91	30,9
	N ₆₀	92	84	91	33,2
	P ₃₀ K ₆₀	92	83	92	32,4
	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	93	86	92	31,5
Среднее по A ₅		92	84	92	32,0
НСР ₀₅ главных эффектов	А	0,4	1,2	0,5	0,87
	В	0,4	0,9	0,4	0,33
НСР ₀₅ частных различий	А	0,7	2,5	1,1	1,74
	В	1,0	2,0	1,0	0,75

Table 4

The influence of the previous crop and the background of nutrition on the sowing qualities of barley seeds, average for 2021–2023

Previous crop (A)	Background of mineral nutrition (B)	Vitality, %	Germination readiness, %	Laboratory germination, %	Weight of 1000 seeds, g
Clover of the second year of use (control)	0	94	87	93	50.8
	N_{60}	93	88	93	49.6
	$P_{30}K_{60}$	94	87	92	49.8
	$N_{60}P_{30}K_{60}$	95	87	94	51.2
Average for A_1		94	87	93	49,7
Clover of the first year of use	0	95	86	91	49.8
	N_{60}	94	86	94	45.6
	$P_{30}K_{60}$	94	87	92	48.8
	$N_{60}P_{30}K_{60}$	94	88	93	49.7
Average for A_2		94	87	93	48,5
Spring wheat	0	93	86	94	33.2
	N_{60}	93	86	94	41.6
	$P_{30}K_{60}$	93	86	94	40.3
	$N_{60}P_{30}K_{60}$	94	88	94	45.2
Average for A_3		93	87	93	40,0
Vetch + oat	0	96	88	95	35.2
	N_{60}	97	88	96	48.9
	$P_{30}K_{60}$	95	88	93	47.0
	$N_{60}P_{30}K_{60}$	97	88	95	51.0
Average for A_4		96	88	95	45,5
Barley	0	91	84	91	30.9
	N_{60}	92	84	91	33.2
	$P_{30}K_{60}$	92	83	92	32.4
	$N_{60}P_{30}K_{60}$	93	86	92	31.5
Average for A_5		92	84	92	32,0
LSD ₀₅ the main effects	A	0,4	1,2	0,5	0.87
	B	0,4	0,9	0,4	0.33
LSD ₀₅ particular differences	A	0,7	2,5	1,1	1.74
	B	1,0	2,0	1,0	0.75

В целом характеристики посевных качеств семян представляют собой ключевой аспект успешного сельскохозяйственного производства, оказывающий влияние на эффективность производства и качество конечной сельскохозяйственной продукции.

Посевные качества семян представлены в таблице 4.

Изучение лабораторной всхожести семян выявило, что все образцы ярового ячменя соответствуют ГОСТ 52325-2005, определен наилучший показатель всхожести по предшественнику - вико-овсяная смесь (95 %), средние показатели по предшественникам яровая пшеница и клевер 1 г. п. и 2 г. п. (93 %) и худший показатель по предшественнику ячмень (92 %).

Структура урожая раскрывает, за счет каких элементов складывается его величина. На формирование массы 1000 зерен ярового ячменя как одного из ключевых показателей структуры урожая факторы,

изучаемые в опыте, оказали существенное достоверное влияние (таблица 4).

В среднем за годы исследований число продуктивных растений по разным предшественникам и дозам удобрений менялось от 62 до 304 шт/м². Продуктивная кустистость варьировалась от 1,23 до 2,15. В вариантах с N_{60} этот показатель был наиболее высоким – 1,35–2,15.

Стоит отметить значительное влияние как предшественника, так и фона минерального питания на массу 1000 зерен. Различия в средних значениях массы зерен как по предшественникам, так и по фонам подтверждаются высокими значениями НСР₀₅ для главных эффектов.

Ячмень как предшественник выделяется на фоне остальных, демонстрируя наименьшую среднюю массу зерен (32,0 г), что подтверждает его отрицательное влияние на формирование урожайности ячменя.

Таблица 5
Урожайность ярового ячменя в зависимости от предшественника и фонов минерального питания, т/га, среднее за 2021–2023 гг.

Предшественник (А)	Фон минерального питания (В)				Среднее
	0	N ₆₀	P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	
Клевер 2 г. п. (контроль)	1,64	1,77	1,87	1,89	1,79
Клевер 1 г. п.	1,06	1,25	1,30	1,29	1,23
Яровая пшеница	1,52	1,64	1,72	1,66	1,64
Вика + овес	3,40	3,17	3,69	3,77	3,51
Ячмень	1,11	1,43	0,90	1,71	1,29
Среднее	1,75	1,85	1,90	2,06	1,89
НСР ₀₅ главных эффектов	А		1,01		
	В		0,25		
НСР ₀₅ частных различий	А		2,01		
	В		0,50		

Table 5
Yield of spring barley depending on the previous crop and mineral nutrition backgrounds, t/ha, average for 2021–2023

Previous crop (A)	Background of mineral nutrition (B)				Average
	0	N ₆₀	P ₃₀ K ₆₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	
Clover of the second year of use (control)	1.64	1.77	1.87	1.89	1.79
Clover of the first year of use	1.06	1.25	1.30	1.29	1.23
Spring wheat	1.52	1.64	1.72	1.66	1.64
Vetch + oat	3.40	3.17	3.69	3.77	3.51
Barley	1.11	1.43	0.90	1.71	1.29
Average	1.75	1.85	1.90	2.06	1.89
LSD ₀₅ the main effects	A		1.01		
	B		0.25		
LSD ₀₅ particular differences	A		2.01		
	B		0.50		

Фон N₆₀P₃₀K₆₀ выделяется на фоне других фонов, обеспечивая наибольшую среднюю массу зерен (45,7 г).

По количеству зерен в колосе наиболее продуктивными оказались все варианты по предшественнику вико-овсяная смесь и фонам питания, число зерен составило 24–26 шт. Меньше всего зерен в колосе при возделывании ячменя по ячменной – 9–14 шт. Клевер и яровая пшеница как предшественники примерно одинаково влияют на формирование количества зерен – 12–18 шт.

Эффективность применяемых приёмов возделывания определяется величиной урожайности культуры, отражающей уровень интенсификации сельскохозяйственного производства. Урожайность ячменя изменялась от 1,06 до 3,77 т/га (таблица 5).

Сравнительная оценка продуктивности ячменя по предшественникам позволяет отметить, что варьирование величины урожайности зависит от предшественника. Улучшение питания растений не зависимо от создаваемого фона питания не привело к значительному увеличению урожайности ячменя.

Наилучшие результаты наблюдаются при использовании вико-овсяной смеси в качестве пред-

шественника ячменя, при этом урожайность существенно увеличивается до интервала от 3,17 до 3,77 т/га в зависимости от фона минерального питания.

Возделывание ячменя после клевера приводит к существенному снижению урожайности ячменя (1,06–1,25 т/га), дополнительное внесение N₆₀P₃₀K₆₀ несущественно увеличивает урожайность до 1,29 т/га, что объясняется меньшим накоплением продуктивной влаги в почве.

Таким образом, выбор предшественника и фона минерального питания играет ключевую роль в оптимизации урожайности ячменя. Наилучшие результаты достигаются при использовании вико-овсяной смеси в качестве предшественника. Вико-овсяная смесь не только обеспечивает высокую урожайность, но и улучшает показатели плодородия почвы благодаря своей способности к азотфиксации и улучшению ее структуры, что приводит к более качественному и эффективному производству ячменя. Кроме того, использование вико-овсяной смеси способствует сдерживанию роста сорняков и поддерживает биологическое разнообразие почвы. Правильный выбор предшественника, такого как

вико-овсяная смесь, в сочетании с оптимальным фоном минерального питания значительно повышает уровень урожайности – до 3,51 т/га при средней урожайности по региону 2,1 т/га – и эффективность производства ячменя, что является важным аспектом в сельском хозяйстве.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе представленного исследования было выявлено существенное влияние предшественника и фона минерального питания на урожайность ярового ячменя. Результаты указывают на значительные различия в урожайности в зависимости от предшественника, причем вико-овсяная смесь демонстрирует наилучшие показатели. В среднем за исследуемый период урожайность при использовании вико-овсяной смеси как предшественника составила от 3,17 до 3,77 т/га, в то время как использование клевера приводило к значениям, не превышающим 1,29 т/га.

Анализ данных массы 1000 зерен ярового ячменя достоверно подтверждает влияние предшественника и фона минерального питания на данный показатель. Наилучшие результаты наблюдались при использовании вико-овсяной смеси, что под-

черкивает важность правильного выбора предшественника для обеспечения оптимальных посевных качеств семян.

Важно отметить, что средние значения содержания белка в зерне ячменя также различались в зависимости от предшественника и фона минерального питания. Наибольшие значения белка наблюдались при использовании вико-овсяной смеси, что может быть связано с ее влиянием на обогащение почвы питательными элементами.

Таким образом, сравнительная оценка урожайности ячменя по предшественникам позволяет отметить, что преимущество размещения культуры при научно обоснованном чередовании сохраняется. Выбор предшественника и фона минерального питания при планировании сельскохозяйственных культурных ротаций должны учитывать факторы, оказывающие значительное влияние на урожайность и качество ячменя, что, в свою очередь, может повлиять на эффективность сельскохозяйственного производства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение оптимальных комбинаций предшественников и фонов минерального питания для максимизации урожайности ячменя.

Библиографический список

1. Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий в условиях Среднего Предуралья // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. № 6. С. 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859.
2. Смуров С. И., Наумкин В. Н., Ермолаев С. Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // *Вестник аграрной науки*. 2020. № 2. С. 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36.
3. Shalaeva L. V. Barley production and consumption trends in the Russian Federation // *Food Policy and Security*. 2023. No. 4. Pp. 719–734. DOI: 10.18334/ppib.10.4.117196.
4. Борисов Б. Б., Исламова Ч. М., Фатыхов И. Ш., Мазунина Н. И. Экологическая пластичность и адаптивность сортов ярового ячменя в абиотических условиях Среднего Предуралья // *Пермский аграрный вестник*. 2020. № 2. С. 31–38. DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10031.
5. Фомин Д. С., Фомин Д. С., Пикулева Г. И. Геоинформационные системы в агроэкологической оценке земель для проектирования адаптивно-ландшафтной системы обработки почвы в Предуралье // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023. № 1. С. 57–63.
6. Новичихин А. М., Чайкин В. В. Урожайность сортов ярового ячменя при различных уровнях минерального питания в сочетании со стимуляторами роста // *Агрохимический вестник*. 2022. № 3. С. 10–16.
7. Marini L., St-Martin A., Vico G., Baldoni G., Berti A., Blecharczyk A., Maleka-Jankowiak I., Morari F., Sawinska Z., Bommarco R. Crop rotations sustain cereal yields under a changing climate // *Environmental Research Letters*. 2020. No. 12. Pp. 124011–124019.
8. Woźniak A. Effect of various systems of tillage on winter barley yield, weed infestation and soil properties // *Applied Ecology & Environmental Research*. 2020. No. 2. Pp. 3483–3496. DOI: 10.1088/1748-9326/abc651.
9. Cammarano D., Holland J., Ronga D. Spatial and temporal variability of spring barley yield and quality quantified by crop simulation model // *Agronomy*. 2020. No. 3. Pp. 393–405. DOI: 10.3390/agronomy10030393.
10. Когут Б. М., Семенов В. М., Артемьев З. С., Данченко Н. И. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода // *Агрохимия*. 2021. № 5. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188121050070.
11. Sanina N. V. The productivity and spring barley grain quality depending on mineral fertilizer systems // *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences. 2020. Vol. 27. Article number 00049. DOI: 10.1051/bioconf/20202700049.
12. Belkina R. I., Pershakov A. Y., Gubanova V. M. The yield and grain quality of barley varieties in the northern forest steppe of the Tyumen region // *Plant Science Today*. 2021. No. 2. Pp. 229–235. DOI: 10.14719/pst.2021.8.2.943.

13. Седяков М. В. Влияние агротехнологических приемов на хозяйственно-ценные признаки новой перспективной линии ярового ячменя Л-1800 // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 1. С. 59–67. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-1-59-67.

14. Bakaeva N. P., Chugunova O. A., Saltukova O. L., Prikazchikov M. S. Components of the biotope soil and yield of barley // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. Article number 042062. DOI 10.1088/1755-1315/548/4/042062.

15. Finch-Savage W. E. Influence of seed quality on crop establishment, growth, and yield // Seed quality. 2020. Pp. 361–384. DOI: 10.4324/9781003075226-11.

16. Afzal I., Javed T., Amirkhani M., Taylor A. G.. Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance // Agriculture. 2020. No. 11. Pp. 526–546. DOI: 10.3390/agriculture10110526.

Об авторах:

София Сергеевна Полякова, младший научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; аспирант, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0001-8639-4060, AuthorID 1087907. *E-mail: ss.polyakova@yandex.ru*

Денис Станиславович Фомин, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0001-8261-7191, AuthorID 695406. *E-mail: akvilonag@mail.ru*

Надежда Николаевна Яркова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агробиотехнологий, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0003-3178-6600, AuthorID 680686. *E-mail: nadezhda.yarkova@yandex.ru*

Дмитрий Станиславович Фомин, научный сотрудник, Ф Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0003-0718-7632, AuthorID 1070705. *E-mail: prm.fomin.d@gmail.com*

References

1. Fomin D. S., Yarkova N. N., Polyakova S. S. Yield of spring barley depending on the hydrothermal conditions of vegetation in the conditions of the Middle Trans-Urals. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23 (6): 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859. (In Russ.)

2. Smurov S. I., Naumkin V. N., Ermolaev S. N. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 2 (83): 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36. (In Russ.)

3. Shalaeva L. V. Barley production and consumption trends in the Russian Federation. *Food Policy and Security*. 2023; 4: 719–734. DOI: 10.18334/ppib.10.4.117196. (In Russ.)

4. Borisov B. B., Islamova Ch. M., Fatykhov I. Sh., Mazunina N. I. Ecological plasticity and adaptability of spring barley varieties in abiotic conditions of the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2020; 2 (30): 31–38. DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10031. (In Russ.)

5. Fomin D. S., Fomin Dm. S., Pikuleva G. I. Geoinformation systems in agroecological assessment of land for designing adaptive-landscape soil treatment in the Ural region. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023; 1 (72): 57–63. (In Russ.)

6. Novichikhin A. M., Chaykin V. V. The yield of spring varieties at different levels of mineral nutrition in combination with growth stimulants. *Agrochemical Herald*. 2022; 3: 10–16. (In Russ.)

7. Marini L., St-Martin A., Vico G., Baldoni G., Berti A., Blecharczyk A., Maleka-Jankowiak I., Morari F., Sawinska Z., Bommarco R. Crop rotations sustain cereal yields under a changing climate. *Environmental Research Letters*. 2020; 12: 124011–124019.

8. Woźniak A. Effect of various systems of tillage on winter barley yield, weed infestation and soil properties. *Applied Ecology & Environmental Research*. 2020; 2: 3483–3496. DOI: 10.1088/1748-9326/abc651.

9. Cammarano D., Holland J., Ronga D. Spatial and temporal variability of spring barley yield and quality quantified by crop simulation model. *Agronomy*. 2020; 3: 393–405. DOI: 10.3390/agronomy10030393.

10. Kogut B. M., Semenov V. M., Artemyeva Z. S., Danchenko N. N. Dehumification and soil carbon sequestration. *Agrochemistry*. 2021; 5: 3–13. DOI: 10.31857/S0002188121050070. (In Russ.)

11. Sanina N. V. The productivity and spring barley grain quality depending on mineral fertilizer systems. *BIO Web of Conferences. EDP Sciences*. 2020; 27: Article number 00049. DOI: 10.1051/bioconf/20202700049.

12. Belkina R. I., Pershakov A. Y., Gubanova V. M. The yield and grain quality of barley varieties in the northern forest steppe of the Tyumen region. *Plant Science Today*. 2021; 2: 229–235. DOI: 10.14719/pst.2021.8.2.943.

13. Sedyakov M. V. Influence of agrotechnological techniques on economically valuable features of a new promising line of spring barley L-1800. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021; 1 (62): 59–67. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-1-59-67. (In Russ.)

14. Bakaeva N. P., Chugunova O. A., Saltukova O. L., Prikazchikov M. S. Components of the biotope soil and yield of barley. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 042062. DOI: 10.1088/1755-1315/548/4/042062.

15. Finch-Savage W. E. Influence of seed quality on crop establishment, growth, and yield. *Seed quality*. 2020; 361–384. DOI: 10.4324/9781003075226-11.

16. Afzal I., Javed T., Amirkhani M., Taylor A. G. Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture*. 2020; 11: 526–546. DOI: 10.3390/agriculture10110526.

Authors' information:

Sofiya S. Polyakova, junior researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; postgraduate, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0001-8639-4060, AuthorID 1087907.

E-mail: ss.polyakova@yandex.ru

Denis S. Fomin, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of precision technologies in agriculture, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia;

ORCID 0000-0001-8261-7191, AuthorID 695406. *E-mail: akvilonag@mail.ru*

Nadezhda N. Yarkova, candidate of agricultural sciences, associate professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0003-3178-6600,

AuthorID 680686. *E-mail: nadezhda.yarkova@yandex.ru*

Dmitriy S. Fomin, researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy

of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0003-0718-7632, AuthorID 1070705. *E-mail: prm.fomin.d@gmail.com*

Взаимосвязь геномного и расчетного инбридинга в популяции крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области

П. С. Богатова, Г. А. Лиходеевский, О. Е. Лиходеевская✉

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉E-mail: lixodeevskaya@mail.ru

Аннотация. Цель – изучить изменение инбридинга купного рогатого скота голштинской породы Свердловской области, выявить корреляционные взаимосвязи геномных оценок инбридинга с расчетными по родословным. **Методы.** Исследование проводили в шести племенных организациях Свердловской области на 512 коровах и телках 2007–2022 г. р. и 12 быках. Генотипирования проводили на чипах GGP Bovine 150K (Neogen, США) и Bovine 50K (Illumina, США). Оценки геномного инбридинга F были проведены в PLINK v1.9 функцией --het. Коэффициент инбридинга по регионам гомозиготности F_{ROH} был рассчитан с помощью метода «скользящего окна» пакета detectRUNS; F_{PED} был взят из базы данных СЕЛЭКС, где он рассчитан по родословной с применением формулы Райта – Кисловского. **Научная новизна.** Впервые для крупного рогатого скота Свердловской области было проведено сравнение различных возрастных групп с помощью геномных оценок инбридинга и установлены корреляционные связи с инбридингом, рассчитанным по родословной. **Результаты.** По итогу исследовательской работы было обнаружено, что коэффициенты инбридинга значимо увеличиваются от младших возрастных групп к старшим. Максимальные же значения инбридинга достигаются в группе быков-производителей голштинской породы. В то же время уровень гетерозиготности, оцененный через sMLH, имеет тенденцию к снижению с возрастом. Также мы установили, что данные по инбридингу, рассчитанному по родословной (F_{PED}), имеют наибольшую корреляцию с датой рождения особи. Помимо этого, F_{PED} слабо коррелирует с геномными коэффициентами, при том что последние коррелируют между собой с высокой степенью достоверности.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, инбридинг, ДКН-биочип, F , F_{ROH} , F_{PED} , sMLH, голштинская порода

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-26-00260 (регистрационный номер 123042000077-0).

Для цитирования: Богатова П. С., Лиходеевский Г. А., Лиходеевская О. Е. Взаимосвязь геномного и расчетного инбридинга в популяции крупного рогатого скота голштинской породы Свердловской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1158–1171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1158-1171>.

Дата поступления статьи: 07.11.2023, **дата рецензирования:** 19.04.2024, **дата принятия:** 16.05.2024.

The relationship between genomic and estimated inbreeding in the population of Holstein cattle in Sverdlovsk region

P. S. Bogatova, G. A. Likhodeevskiy, O. E. Likhodeevskaya ✉

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: lixodeevskaya@mail.ru

Abstract. The purpose of this paper is to study the inbreeding change of Holstein cattle in Sverdlovsk region and to show the correlation between genomic and estimated inbreeding. **Methods.** The study was conducted in six farms of the Sverdlovsk region and included 512 cows and heifers with date of birth from 2007 to 2022 and 12 breeding bulls. Chips GGP Bovine 150K (Neogen, USA) and Bovine 50K (Illumina, USA) were used for genotyping. Genome inbreeding estimates F were conducted with --het function in PLINK v1.9. Homozygosity inbreeding coefficient F_{ROH} was calculated with “sliding window” package of detectRUNS; F_{PED} was taken from SELEX database, where it was calculated by pedigrees with Wright-Kislovsky formula. **Scientific novelty.** The comparison of genomic inbreeding for different age groups and estimation of correlations with pedigree inbreeding was conducted in Sverdlovsk region for the first time. **Results.** Our studies show that inbreeding coefficients increase radically from younger to older age groups. Holstein breed bulls show the highest value of inbreeding. At the same time heterozygosity level, estimated with sMLH tends to decrease with age. In addition, a strong correlation between estimated by pedigree inbreeding F_{PED} and date of birth, as well as weak correlations between F_{PED} and genomic coefficients (which have strong correlations with each other) were established.

Keywords: dairy cattle, inbreeding, DNA chips, F , F_{ROH} , F_{PED} , sMHL, Holstein cattle

Acknowledgements. The study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-26-00260 (registration number 123042000077-0).

For citation: Bogatova P. S., Likhodeevskiy G. A., Likhodeevskaya O. E. The relationship between genomic and estimated inbreeding in the population of Holstein cattle in Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1158–1171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1158-1171>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.11.2023, **date of review:** 19.04.2024, **date of acceptance:** 16.05.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Снижение генетического разнообразия и повышение инбридинга внутри популяций крупного рогатого скота волнует исследователей по всему миру. Большое количество работ посвящено изменению гомозиготного состояния популяций в пространстве и во времени, методам оценки инбридинга и его влиянию на продуктивные и фертильные качества крупного рогатого скота и, в частности, голштинской породы. Например, проведенная в Канаде оценка инбридинга и генетического разнообразия канадской популяции голштинов дала возможность К. Stachowicz с соавторами сделать выводы, что коэффициент инбридинга, рассчитанный по родословной (F_{PED}), вырос в два раза с 1970-х по 1990-е годы, а в 2000-х отмечено его снижение даже ниже уровня 1970-х [1]. Исследователи утверждают, что причиной резкого снижения инбридинга стали осведомленность о высоких степенях инбридинга и его быстрый рост в 1990-х годах, а также использование алгоритмов подбора пар и системы BLUP

(Best Linear Unbiased Prediction), позволяющей сделать выводы о практической племенной оценке.

Традиционно коэффициент инбридинга в отечественных трудах рассчитывается по родословной с применением формулы Райта в модификации Кисловского [2; 3]. Уральскими учеными в Свердловской области оценка инбридинга впервые была введена в 2012 году [4]. Уже на тот момент И. М. Донник и др., говоря о проблемах, связанных с инбридингом популяции молочного скота, которые можно ожидать в будущем, указывали на их предпосылки. К ним отнесли малое число быков-производителей и то, что их подавляющее большинство принадлежит лишь двум голштинским линиям. В работе также оговаривается, что серьезной проблемой является ненадлежащее заполнение родословной, из-за чего для 13 из 20 хозяйств Свердловской области было невозможно корректно рассчитать доли инбредных особей в поголовье. Мировые научные исследования [5; 6] также упоминают о сложности установления коэффициента инбридинга, рас-

считанного по родословной в связи с неполными данными, внесенными в базы учета родословных. Помимо этого, в отношении F_{PED} как достоверной оценки инбридинга есть другие возражения. Так, теоретическое исследование, проведенное М. Kardos с коллегами в 2015 году, построенное на компьютерной симуляции популяций, для которых данные родословной не могли быть утрачены и подвержены изменению, показало, что геномные оценки инбридинга точнее, чем инбридинг, рассчитанный по родословной [7].

Дальнейшие публикации, касающиеся инбридинга в популяции крупного рогатого скота Свердловской области, были посвящены оценке его влияния по отношению к различным характеристикам крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, например, на живую массу, молочную продуктивность, качество молока и воспроизводительную способность, на продуктивное долголетие коров и в целом оценку экономической эффективности инбридинга [8–11].

Развитие геномных технологий расширило наши возможности. Появились и распространились методы, позволяющие проводить геномную селекцию в животноводстве. Один из самых доступных способов оценки геномного инбридинга – использование STR-маркеров (микросателлитных локусов), которые обычно используются для подтверждения происхождения. Коэффициент инбридинга, основанный на STR-маркерах, ассоциирован с оценкой племенной ценности животных, их хозяйственно полезных качеств [12] и экстерьерных характеристик [13]. Но сегодня для крупного рогатого скота наиболее широкое распространение получила технология генотипирования множества точковых полиморфизмов с применением ДНК-биочипов. Некоторые исследования указывают на особенности применения ДНК-биочипов для определения генотипов отечественных пород и утверждают, что эта технология имеет свои ограничения. Так, для холмогорской и ярославской пород рассчитанные оценки инбридинга оказались занижены по сравнению с голштинами. А. С. Абдельманова с соавторами отмечают, что подобное смещение оценки может происходить из-за специфики дизайна ДНК-биочипа, не учитывающего российские породы и не включающего локусы, характерные для подобных особей [14]. Однако мы не ожидаем занижения оценок инбридинга, поскольку известно близкое родство скота молочного направления Свердловской области и голштинской породы [15]. История формирования уральского черно-пестрого крупного рогатого скота восходит к скрещиванию местной тагильской породы и остфризского европейского скота. Остфризская же порода происходит из голландской, от которой, в свою очередь, в Северной Америке получена голштинская порода. Сегодня

зарубежный и местный генетический материал голштинского скота, активно использовавшийся и используемый для улучшения черно-пестрой породы, привел практически к полному замещению последней в Свердловской области.

Существует большое количество геномных оценок инбридинга. Мы сосредоточили свое внимание на трех: F [16], F_{ROH} [17] и $sMLN$ [18]. Коэффициент инбридинга F определяется как ожидаемая степень снижения гетерозиготности по сравнению с ожиданием Харди – Вайнберга; F_{ROH} основан на определении регионов гомозиготности (runs of homozygosity, ROH) и рассчитывается как отношение суммы длин ROH к размеру всего генома; $sMLN$, или стандартизированная мультилокусная гетерозиготность, это отношение полиморфных локусов к наблюдаемой гетерозиготности. Отмечается, что геномный инбридинг на основе регионов гомозиготности является наиболее надежной оценкой [19].

А. Najihosseino с соавторами показали, что геномные оценки инбридинга, основанные на данных генотипирования с помощью ДНК-биочипов, приобрели широчайшее применение для описания генетической структуры популяций крупного рогатого скота [20]. Большое количество работ, посвященных сравнению различных молочных пород между собой, показывают, что у голштинского скота по сравнению с джерсейской, айрширской и бурой швицкой породами геномные оценки инбридинга ниже [21–23]. Помимо исследования инбридинга, изучается его связь с хозяйственно полезными признаками. Определение регионов гомозиготности позволяет находить ассоциированные гены и группы сцепления, которые сохраняются из поколения в поколение, поскольку несут локусы ответственные за высокие продуктивные качества [24; 25].

В 2020 году А. А. Сермягиным в соавторстве с О. А. Быковой и О. Г. Лоретц в Свердловской области было проведено первое исследование по оценке влияния инбридинга на продуктивные качества, в котором инбридинг рассчитывался не по родословной, а по данным генотипирования [26]. Геномные данные стали использоваться во все большем числе исследований для расчета инбридинга в регионах Российской Федерации. М. Г. Смарадовым и А. А. Кудиновым установлено, что инбридинг, рассчитанный на основе регионов гомозиготности, варьировал в среднем от 5,5 до 8 %; а в геноме голштинизированных черно-пестрых коров из Ленинградской области количество ROH-последовательностей примерно в два раза меньше, чем у американского голштинского скота [27]. Авторы работы отмечают, что наиболее вероятной причиной этого может служить базовый генофонд черно-пестрой породы крупного рогатого скота. Исследование инбридинга быков-производителей черно-пестрой породы, голштинской породы крас-

но-пестрой масти и голштинской породы черно-пестрой масти установило достоверно значимое увеличение показателя инбридинга от более старых групп животных к более молодым. Этот факт обусловлен тем, что селекционная работа по улучшению продуктивных характеристик проводится внутри группы, при этом используется достаточно небольшое количество улучшателей, которые отбираются по признакам молочной продуктивности и фертильности. Также на основе расчета геномного инбридинга И. С. Недашковским с соавторами сделаны выводы о значимых различиях между группами быков-производителей Российской Федерации от животных, рожденных в Германии и Канаде [28]. Оценка уровня инбридинга на фертильные характеристики быков-производителей показала, что с его увеличением с 4,1 % до 10,9 % повышается средний объем эякулята, числа сперматозоидов в среднем объеме эякулята, при этом, что немаловажно, с сохранением активности сперматозоидов [29]. Помимо этого, проводили анализ изменения продуктивных качеств дочерей, и по мере роста коэффициента инбридинга наблюдалось увеличение удоя за 305 дней лактации, количества молочного жира, белка молока, продолжительности лактации. Однако одновременно снижается доля молочного жира и белка.

Экономический эффект инбридинга (а конкретнее – эффект инбредной депрессии) может быть достаточно затруднительно оценить. В первую очередь оценка по F_{PED} , вероятно, не даст достоверных результатов из-за неполного соответствия этих данных геномным коэффициентам инбридинга. Помимо этого, встречается проблема с доступностью и достоверностью данных хозяйственно полезных признаков, таких как удой, жир- и белкомолочность, количество соматических клеток в молоке; а также с показателями фертильности. Однако существует множество зарубежных экономических оценок влияния инбридинга на данные показатели. В исследовании 2006 года голштинского скота [30] показано, что F_{PED} снижал удой, содержание жира и белка за лактацию на каждый 1 % прироста инбридинга, и экономический ущерб оценивается в 6,13 евро за каждый 1 %. В другой работе инбредная депрессия на 1 % прироста F_{PED} также вызывает снижение выхода молока, белка и жира; увеличивается интервал между отелами третьей лактации и возраст первого отела, а высокие значения инбридинга матерей повышает частоту трудных отелов; животные с более высоким значением инбридинга, как правило, имеют более высокие показатели соматических клеток в молоке [31].

Оценки экономического эффекта инбредной депрессии, основанные на геномных коэффициентах инбридинга, например F_{ROH} , также приводят к выводам о негативном влиянии возрастания инбридинга

на продуктивные качества коров: уменьшение удоя, снижение фертильности [32–36]. Оценки инбредной депрессии, основанные на F_{PED} , требуют достоверности данных происхождения, что не всегда возможно по причинам утраченных данных, ошибок и человеческого фактора, поэтому современные работы используют геномные коэффициенты инбридинга, но родословная остается незаменимым источником информации при работе с давно выбывшими особями.

Методология и методы исследования (Methods)

Отбор образцов проводили в шести племенных хозяйствах Свердловской области. Всего в группу исследования было отобрано 512 полно-возрастных коров 2007–2022 годов рождения и 12 быков-производителей.

Для генотипирования отбирали кровь из подвостовой вены в пробирки с ЭДТА. Работа по генотипированию проводилась в сторонних организациях. Кровь в количестве 274 образцов была отправлена для выделения ДНК и генотипирования на чипах GGP Bovine 150K (Neogen, США) в Центр коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, другие 250 образцов крови были отправлены в ООО «Мираторг» Центр геномной селекции для генотипирования на чипах Bovine 50K (Illumina, США).

Первичную фильтрацию по Gene Score > 0,35 проводили в программном обеспечении R [37]. Последующие фильтрации по отсутствующим данным генотипов проводили с помощью PLINK v1.9 [38] и опций --geno 0.05 --mind 0.05. В результате проведенной фильтрации для анализа представленного поголовья Свердловской области были доступны 472 образца и 40 506 однонуклеотидных полиморфизмов.

Оценки геномного инбридинга F были проведены в PLINK v1.9 функцией --het. Коэффициент инбридинга по регионам гомозиготности F_{ROH} был рассчитан с помощью метода «скользящего окна» пакета detectRUNS [39] со следующими настройками: размер окна – 20 однонуклеотидных полиморфизмов; threshold – 0,1; плотность – 1 однонуклеотидный полиморфизм на 90 000 нуклеотидных пар; минимальное число однонуклеотидных полиморфизмов в ROH – 18; допускали 1 гетерозиготный и 1 пропущенный локус на регион. Фильтрацию по частоте минорного аллеля и неравновесного сцепления не проводили в соответствии с рекомендациями для данных ДНК-чипов средней плотности [40]. Стандартизованную мультилокусную гетерозиготность (sMLH) рассчитывали с помощью R-пакета inbreedR [41]. Данные F_{PED} брали из базы СЕЛЭКС и из каталогов быков-производителей. Нормализацию данных проводили с помощью метода минимакс.

Таблица 1
 Результаты расчетов инбридинга внутри возрастных групп, проведенные различными методами

Группа	F M ± SD	F _{ROH} M ± SD	sMLH M ± SD	F _{PED} M ± SD	Число особей
2007–2012	-0,047 ± 0,032	0,007 ± 0,004	1,035 ± 0,031	0,294 ± 0,644	136
2013–2016	-0,030 ± 0,027	0,009 ± 0,003	1,018 ± 0,027	0,463 ± 0,591	102
2017–2018	-0,003 ± 0,031	0,012 ± 0,003	0,992 ± 0,030	0,610 ± 0,620	115
2019–2022	0,001 ± 0,031	0,012 ± 0,004	0,988 ± 0,030	0,809 ± 0,600	108
Голштинские быки	0,018 ± 0,032	0,015 ± 0,004	0,954 ± 0,031	3,300 ± 2,940	11

Table 1
 Results of inbreeding calculations within age groups by different methods

Group	F M ± SD	F _{ROH} M ± SD	sMLH M ± SD	F _{PED} M ± SD	Number of individuals
2007–2012	-0.047 ± 0.032	0.007 ± 0.004	1.035 ± 0.031	0.294 ± 0.644	136
2013–2016	-0.030 ± 0.027	0.009 ± 0.003	1.018 ± 0.027	0.463 ± 0.591	102
2017–2018	-0.003 ± 0.031	0.012 ± 0.003	0.992 ± 0.030	0.610 ± 0.620	115
2019–2022	0.001 ± 0.031	0.012 ± 0.004	0.988 ± 0.030	0.809 ± 0.600	108
Holstein bulls	0.018 ± 0.032	0.015 ± 0.004	0.954 ± 0.031	3.300 ± 2.940	11

Таблица 2
 Средние, стандартные отклонения и коэффициент вариации нормализованных оценок инбридинга и гетерозиготности внутри групп

Группа	F M ± SD	F CV	F _{ROH} M ± SD	F _{ROH} CV	sMLH M ± SD	sMLH CV	F _{PED} M ± SD	F _{PED} CV
2007–2012	0,275 ± 0,119	43,313	0,229 ± 0,156	68,257	0,719 ± 0,119	16,533	0,035 ± 0,077	218,752
2013–2016	0,340 ± 0,103	30,354	0,323 ± 0,131	40,581	0,654 ± 0,103	15,731	0,055 ± 0,070	127,642
2017–2018	0,439 ± 0,117	26,632	0,441 ± 0,136	30,935	0,552 ± 0,118	21,361	0,073 ± 0,074	101,72
2019–2022	0,457 ± 0,115	25,209	0,445 ± 0,152	34,14	0,535 ± 0,117	21,812	0,096 ± 0,071	74,163
Голштинские быки	0,522 ± 0,119	22,85	0,559 ± 0,170	30,423	0,405 ± 0,118	29,278	0,392 ± 0,350	89,095

Table 2
 Means, standard deviations, and coefficient of variation of normalized estimates of inbreeding and heterozygosity within groups

Group	F M ± SD	F CV	F _{ROH} M ± SD	F _{ROH} CV	sMLH M ± SD	sMLH CV	F _{PED} M ± SD	F _{PED} CV
2007–2012	0.275 ± 0.119	43.313	0.229 ± 0.156	68.257	0.719 ± 0.119	16.533	0.035 ± 0.077	218.752
2013–2016	0.340 ± 0.103	30.354	0.323 ± 0.131	40.581	0.654 ± 0.103	15.731	0.055 ± 0.070	127.642
2017–2018	0.439 ± 0.117	26.632	0.441 ± 0.136	30.935	0.552 ± 0.118	21.361	0.073 ± 0.074	101.72
2019–2022	0.457 ± 0.115	25.209	0.445 ± 0.152	34.14	0.535 ± 0.117	21.812	0.096 ± 0.071	74.163
Holstein bulls	0.522 ± 0.119	22.85	0.559 ± 0.170	30.423	0.405 ± 0.118	29.278	0.392 ± 0.350	89.095

По причине несбалансированности данных по годам рождения для анализа временных изменений инбридинга в популяции данные маточного поголовья были разделены на кварталы по периодам годов рождения; быки-производители голштинской породы были сформированы в отдельную группу.

Прежде чем оценивать различия между группами разных возрастов (и группой быков-произ-

водителей), проводили проверку нормального распределения геномных индексов инбридинга и F_{PED} с помощью теста Шапиро – Уилка [42], функция shapiro.test() пакета stats [37] для R. Проверку однородности групповых дисперсий проводили с помощью теста Флигнера, функция fligner.test() из того же пакета.

Для определения достоверности различий коэффициентов инбридинга между группами использовали тест Краскела – Уоллиса, `kruskal.test()` пакета `stats`.

Для оценки корреляции между различными коэффициентами инбридинга использовали коэффициент корреляции Пирсона исходя из предположения о линейной связи между ними, функция `cor()`, пакет `compositions` [43] для R .

Результаты (Results).

Результаты расчетов средних (M) и стандартных отклонений (SD) геномного инбридинга F , коэффициента инбридинга по регионам гомозиготности F_{ROH} , оценки гетерозиготности $sMLH$ и инбридинга, рассчитанного по родословной F_{PED} внутри возрастных групп, представлены в таблице 1. Коэффициенты инбридинга возрастают от группы 2007–2012 годов рождения к группе 2019–2022, а максимальные значения достигаются в группе быков-производителей, принадлежащих голштинской породе. Обратная тенденция наблюдается для $sMLH$; поскольку это мера гетерозиготности, значения данного показателя убывают. Показатель геномного инбридинга за анализируемый период возрос в 1,5–2 раза, а оценка гетерозиготности снизилась на 70 %; тогда как расчетный инбридинг увеличился в 3 раза. Наибольшая дисперсия наблюдается для данных F_{PED} , что говорит о большом разбросе данных внутри этих наблюдений (таблица 2). Стоит отметить, что коэффициент вариации (CV) также уменьшается от группы 2007–2012 к группе 2019–2022 для коэффициентов инбридинга и увеличивается для $sMLH$, что говорит об уменьшении внутригрупповой дисперсии и может служить свидетельством большей вариабельности генетической информации в группе старших особей по сравнению с молодыми.

Полученные результаты сравнения групп между собой подтверждают общеизвестный тренд увеличения гомозиготности в популяции крупного рогатого скота со временем в процессе активного селекционного отбора. Так, для всех типов коэффициентов сравнение медиан методом Краскела – Уоллиса демонстрирует значимые различия не только для наиболее контрастных групп маточного поголовья 2007–2012 и 2019–2022 годов ($p \ll 0,001$), но и между ближайшими парами (рис. 1). Исключениями являются пара 2017–2018 и 2019–2022 для коэффициентов F и $sMLH$, а также 2013–2016 и 2017–2018 для F_{PED} . По коэффициенту F различия в степени инбридинга отсутствуют между 2019–2022 и голштинскими быками. Метод Краскела – Уоллиса (непараметрический метод анализа различий между группами) был выбран, поскольку внутри групп не соблюдалось правило нормального распределения и однородности групповых дисперсий.

Несмотря на то что и геномные оценки гомозиготности, и коэффициент, основанный на родословной, демонстрируют значимые различия между возрастными группами, коэффициент корреляции (R) для F_{PED} и даты рождения в два раза ниже по сравнению с геномными коэффициентами (рис. 2). При этом между годом рождения и геномным коэффициентом инбридинга особи наблюдается корреляция выше 0,5. Оценка гетерозиготности $sMLH$ имеет обратную корреляцию с годом рождения особи и находится в абсолютных значениях на том же уровне, что и корреляции инбридинга.

Поскольку считается, что геномные оценки точнее, мы сравнили геномные коэффициенты инбридинга (F , F_{ROH}) и стандартизированной мультилокусной гетерозиготности ($sMLH$) с инбридингом, рассчитанным по родословной (F_{PED}), данные о котором были взяты из базы СЕЛЭКС. Геномные оценки F , F_{ROH} и $sMLH$ значимо ($p \ll 0,01$) коррелируют друг с другом в пределах 0,86–1 в абсолютных значениях. Показатель стандартизированной мультилокусной гетерозиготности имеет отрицательную корреляцию по отношению к коэффициентам инбридинга (мерам гомозиготности). Несмотря на то что геномные оценки также значимо ($p \ll 0,01$) коррелируют с F_{PED} , степень корреляции в абсолютных значениях в 2–3 раза ниже (0,34–0,37) по сравнению с корреляцией геномных оценок между собой.

Стоит отметить, что для маточного поголовья разных возрастных групп корреляция между геномными оценками гомозиготности и F_{PED} или недостоверна, или коррелирует достаточно слабо (в абсолютных значениях $R < 0,4$), при этом уровень корреляции между геномными оценками в абсолютных значениях выше 0,7 (рис. 4). Данные F_{PED} и геномных коэффициентов гомозиготности у быков-производителей коррелируют, хоть и слабее, но в большей степени ($R > 0,6$). Подобное свидетельствует в пользу того, что корректное ведение родословной и расчет на ее основе инбридинга по Райту может давать достаточно достоверные данные о степени инбридинга животного. К схожим выводам приходят исследования швейцарского [5] и итальянского [20] голштинского скота, где корреляция между F_{PED} и геномными оценками инбридинга (F и F_{ROH}) составила более 0,6.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе работы над проведенным исследованием нам удалось собрать образцы нескольких возрастных групп крупного рогатого скота молочного направления продуктивности Свердловской области. Была сформирована выборка крупного рогатого скота, в которую вошли особи, рожденные за пятнадцатилетний период с 2007 по 2022 год. Образцы генотипированы на ДНК-биочипах средней плотности Bovine 50k и GGP Bovine 150k.

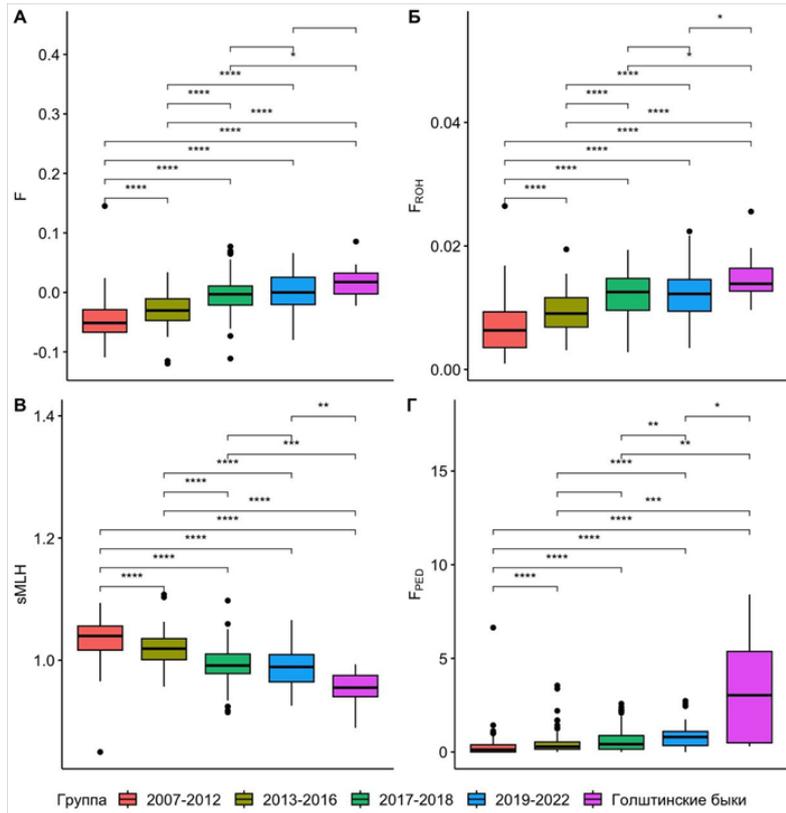


Рис. 1. Результаты сравнения достоверности различий степеней инбридинга разных возрастных групп маточного поголовья и группы голштинских быков-производителей. А – коэффициент инбридинга F ; Б – коэффициент инбридинга F_{ROH} ; В – коэффициент $sMLH$; Г – коэффициент инбридинга F_{PED} ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$

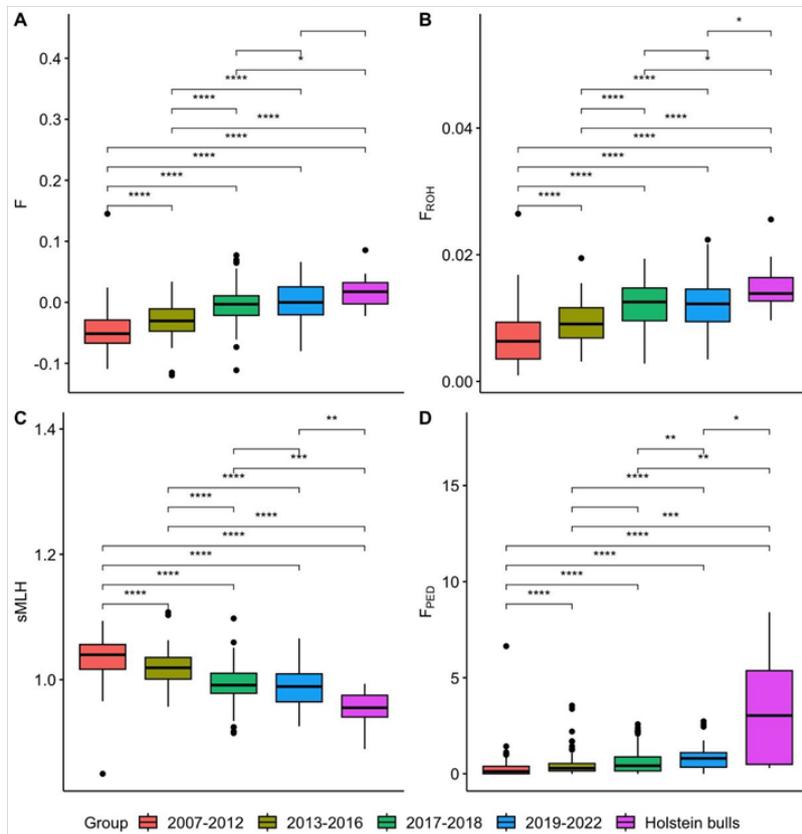


Fig. 1. Comparison results of the reliability of differences in the degrees of inbreeding for different age groups of breeding stock and the group of Holstein sires. A – inbreeding coefficient F ; B – inbreeding coefficient F_{ROH} ; C – $sMLH$ coefficient; D – F_{PED} coefficient; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; **** $p < 0.0001$

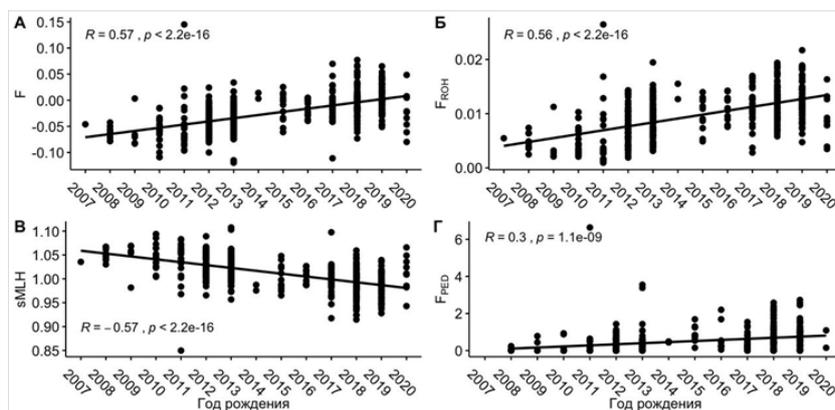


Рис. 2. Корреляция по Пирсону между датой рождения и: А – коэффициентом инбридинга F; Б – коэффициентом инбридинга F_{ROH} ; В – коэффициентом sMLH; Г – коэффициентом инбридинга F_{PED} . R – коэффициент корреляции; p – уровень значимости

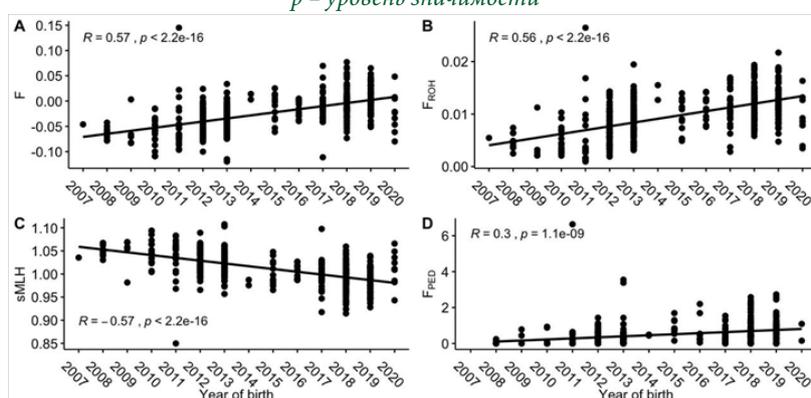


Fig. 2. Pearson correlation between year of birth and: A – inbreeding coefficient F; B – inbreeding coefficient F_{ROH} ; C – sMLH coefficient; D – inbreeding coefficient F_{PED} . R – correlation coefficient; p – p-value

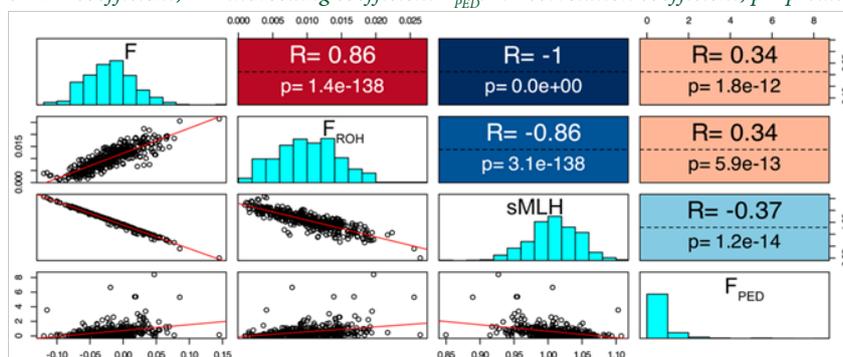


Рис. 3. Корреляция по Пирсону геномных коэффициентов инбридинга F, F_{ROH} , коэффициента инбридинга, рассчитанного по родословной F_{PED} и показателя стандартизированной мультилокусной гетерозиготности sMLH. Оттенки красного демонстрируют положительную корреляцию, синие – отрицательную; чем насыщеннее цвет, тем сильнее корреляция. R – коэффициент корреляции; p – уровень значимости

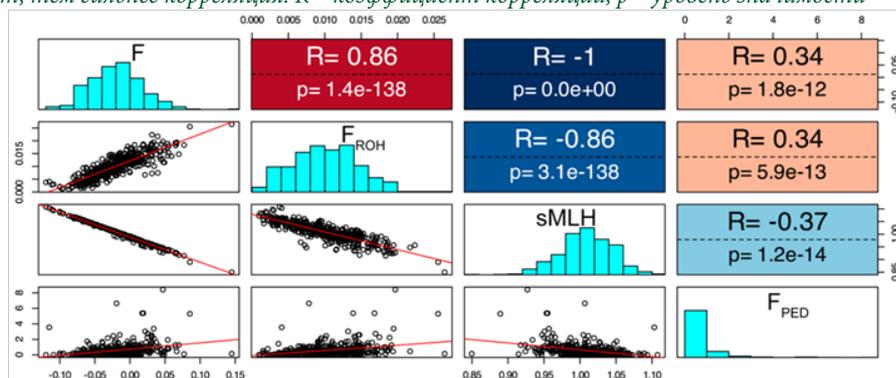


Fig. 3. Pearson correlation of genome inbreeding coefficients F, F_{ROH} , inbreeding coefficient, calculated by pedigree – F_{PED} and standard multilocus heterozygosity. Shades of red indicate positive correlation; shades of blue indicate negative correlation; color saturation shows correlation degree. R – correlation coefficient; p – p-value

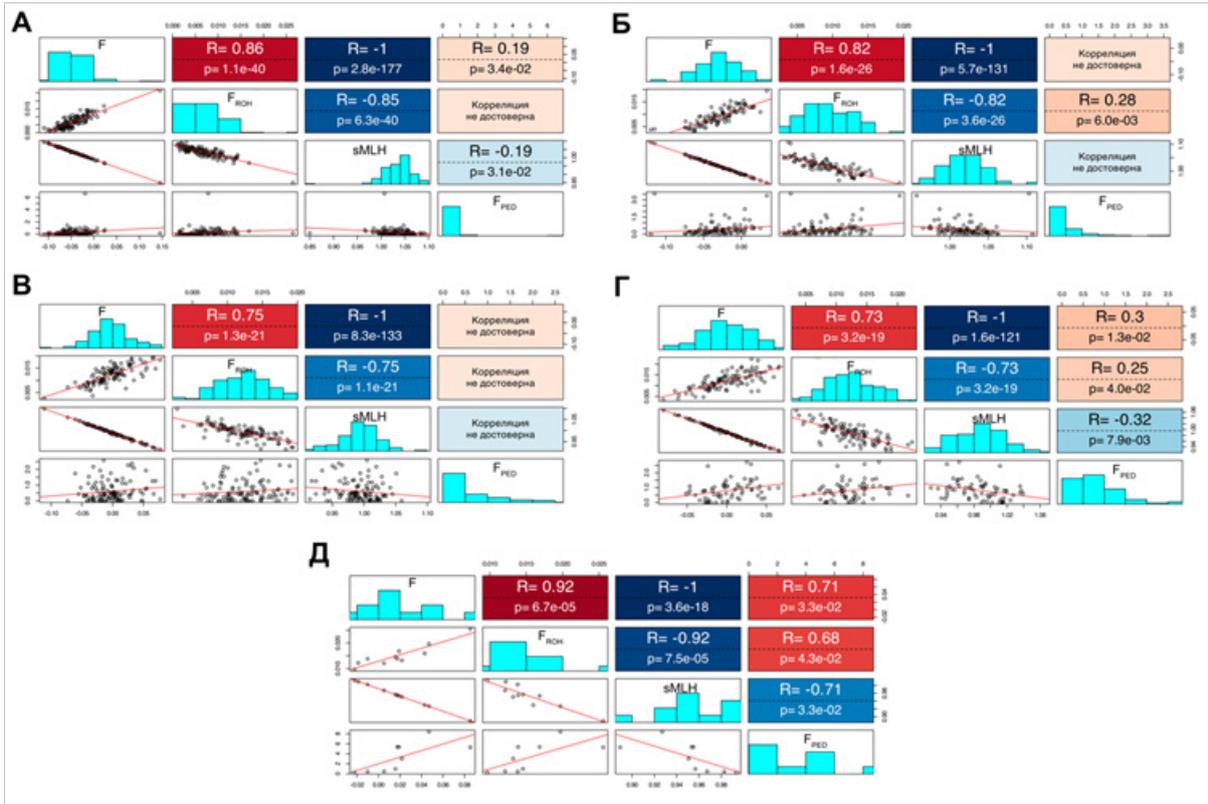


Рис. 4. Корреляции по Пирсону между F, F_{ROHP}, F_{PED} и sMLH. Исследованные группы: А – 2007–2012; Б – 2013–2016; В – 2017–2018; Г – 2019–2022; Д – голштинские быки. Оттенки красного демонстрируют положительную корреляцию, синие – отрицательную; чем насыщеннее цвет, тем сильнее корреляция. R – коэффициент корреляции; p – уровень значимости

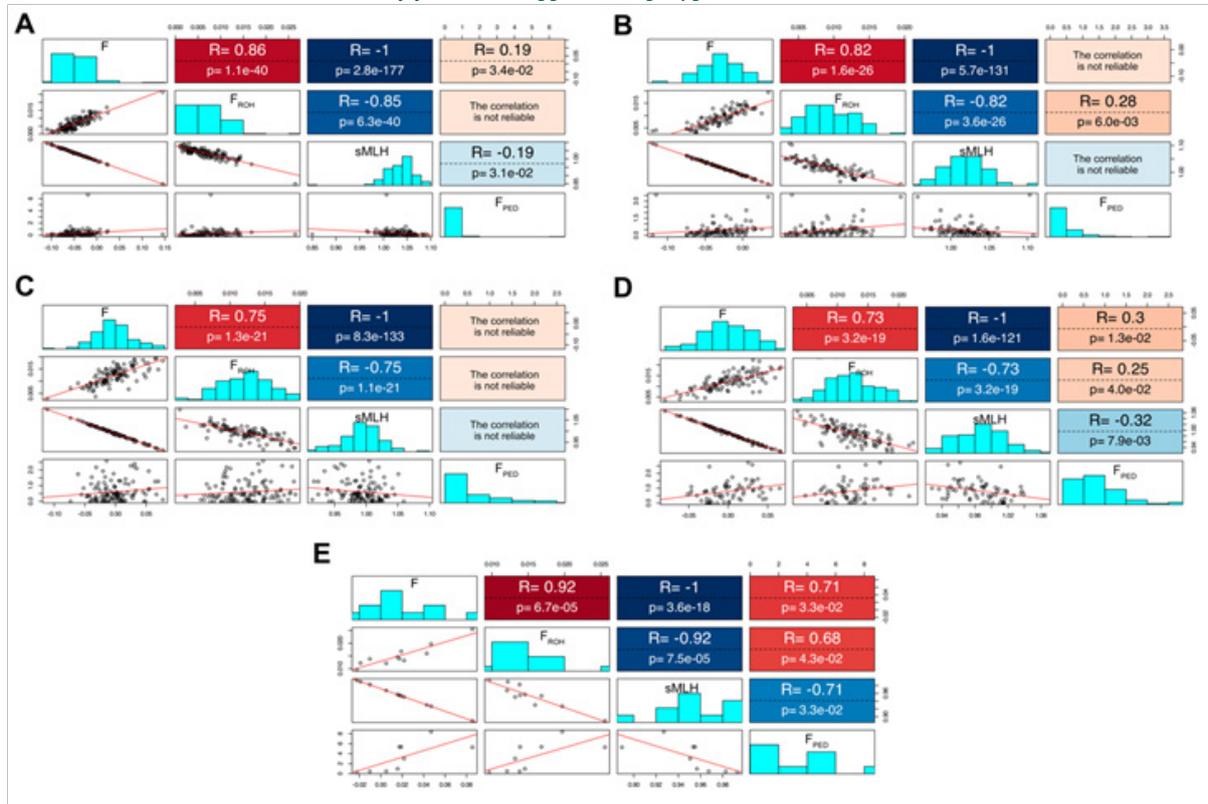


Fig. 4. Pearson correlation between F, F_{ROHP}, F_{PED} and sMLH. The studied groups: A – 2007–2012; B – 2013–2016; C – 2017–2018; D – 2019–2022; E – Holstein bulls. Shades of red indicate positive correlation; shades of blue indicate negative correlation; color saturation shows correlation degree. R – correlation coefficient; p – p-value.

Оценка геномного инбридинга и гетерозиготности разных возрастных групп и группы голштинских быков показала, что со временем инбридинг в популяции возрастает и безотносительно быков производителей достигает максимума в возрастной группе 2019–2022 годов рождения, что подтверждает выявленную динамику в зарубежных популяциях [1]. Сравнение коэффициента инбридинга, рассчитанного по методике Райта – Кисловского, слабо коррелирует с геномными коэффициентами, в то время как последние значимо коррелируют друг с

другом с высокой степенью достоверности, что как подтверждается моделями [7], так и согласуется с результатами наблюдений динамики изменения инбридинга зарубежных [5; 6; 19] и отечественных исследований [26]. Продолжение использования F_{PED} как показателя инбридинга в исследованиях его влияния на хозяйственно полезные признаки лимитировано качеством ведения родословных, ограниченного числа животных с геномным подтверждением происхождения и потому может приводить к неверным выводам.

Библиографический список

1. Stachowicz K., Sargolzaei M., Miglior F., Schenkel F. S. Rates of inbreeding and genetic diversity in Canadian Holstein and Jersey cattle // *Journal of Dairy Science*. 2011; 94, No. 10. Pp. 5160–5175. DOI: 10.3168/jds.2010-3308
2. Wright S. Coefficients of Inbreeding and Relationship // *The American Naturalist*. 1922. Vol. 56, No. 645. Pp. 330–338.
3. Кисловский Д. А. Избранные сочинения. Москва: Колос, 1965. 465 с.
4. Донник И. М., Мырнин В. С., Лоретц О. Г., Севостьянов М. Ю., Лиходеевская О. Е., Барашкин М. И. Распределение коров в племенных организациях свердловской области по степени инбридинга // *Аграрный вестник Урала*. 2013. № 4. С. 30–32.
5. Signer-Hasler H., Burren A., Neuditschko M., Frischknecht M., Garrick D., Stricker C., Gredler B., Bapst B., Flury C. Population structure and genomic inbreeding in nine Swiss dairy cattle populations // *Genetics Selection Evolution*. 2017. Vol. 49. Article number 83. DOI: 10.1186/s12711-017-0358-6
6. Addo S., Klingel S., Hinrichs D., Thaller G. Runs of Homozygosity and NetView analyses provide new insight into the genome-wide diversity and admixture of three German cattle breeds // *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14, No. 12. Article number e0225847. DOI: 10.1371/journal.pone.0225847
7. Kardos M., Luikart G., Allendorf F. W. Measuring individual inbreeding in the age of genomics: marker-based measures are better than pedigrees // *Heredity*. 2015. Vol. 115, No. 1. Pp. 63–72. DOI: 10.1038/hdy.2015.17
8. Донник И. М., Мырнин В. С., Лоретц О. Г., Севостьянов М. Ю., Лиходеевская О. Е., Барашкин М. И. Влияние инбридинга на живую массу коров, экономическая эффективность инбридинга и рекомендации производству // *Аграрный вестник Урала*. 2013. № 6. С. 6–8.
9. Донник И. М., Мырнин В. С., Лоретц О. Г., Севостьянов М. Ю., Лиходеевская О. Е., Барашкин М. И. Влияние инбридинга на молочную продуктивность, качество молока и воспроизводительную способность коров // *Аграрный вестник Урала*. 2013. № 5. С. 15–19.
10. Горелик О. В., Юрченко Н. А., Лиходеевская О. Е., Харлап С. Ю. Эффективность применения инбридинга в молочном скотоводстве // *Логистика в АПК: тенденции и перспективы развития: сборник статей по материалам Всероссийской научной конференции*. Новосибирск, 2020. С. 101–104.
11. Юрченко Н. А., Горелик О. В., Лиходеевская О. Е. Влияние степени инбридинга на продуктивное долголетие коров // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции*. В 2 кн. Кн. 2, Барнаул, 2020. С. 265–266.
12. Недашковский И. С., Костюнина О. В., Волкова В. В., Ермилов А. Н., Сермягин А. А. Оценка племенной ценности быков-производителей голштинской породы по качеству потомства в связи с уровнем гомозиготности по STR-маркерам // *Вестник РГАТУ*. 2019. № 3 (43). С. 36–42.
13. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Волкова В. В., Сермягин А. А. Влияние уровня гомозиготности по STR-маркерам быков-производителей голштинской породы на показатели наследования типа телосложения их дочерей на основе линейной // *Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса*. 2022. № 4. С. 294–302. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-35
14. Абдельманова А. С., Доцев А. В., Мишина А. И., Шахин А. В., Зиновьева Н. А. Геномная оценка инбридинга у крупного рогатого скота холмогорской, ярославской и голштинской пород // *Молочное и мясное скотоводство*. 2019. № 8. С. 21–23. DOI: 10.33943/MMS.2019.71.27.007
15. Голландская порода // *Сельскохозяйственный энциклопедический словарь*. Москва: Советская энциклопедия, 1989. С. 108.
16. Li C. C., Horvitz D. G. Some methods of estimating the inbreeding coefficient // *American Journal of Human Genetics*. 1953. Vol. 5. Pp. 107–117.
17. Gibson J., Morton N.E., Collins A. Extended tracts of homozygosity in outbred human populations // *Human Molecular Genetics*. 2006. Vol. 15, No. 5. Pp. 789–795. DOI: 10.1093/hmg/ddi493.

18. Slate J., David P., Dodds K. G., Veenvliet B. A., Glass B. C., Broad T. E., McEwan J. C. Understanding the relationship between the inbreeding coefficient and multilocus heterozygosity: theoretical expectations and empirical data // *Heredity*. 2004. Vol. 93. Pp. 255–265. DOI: 10.1038/sj.hdy.6800485.
19. Dadousis C., Ablondi M., Cipolat-Gotet C., van Kaam J. T., Finocchiaro R., Marusi M., Cassandro M., Sabboni A., Summer A. Genomic inbreeding coefficients using imputed genotypes: assessing differences among SNP panels in Holstein-Friesian dairy cows // *Frontiers in Veterinary Science*. 2023. No. 10. Article number 1142476. DOI: 10.3389/fvets.2023.1142476.
20. Hajhosseini A., Nejati-Javaremi A., Miraei-Ashtiani S. R. Genetic structure analysis in several populations of cattle using SNP genotypes // *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34, No. 2. Pp. 288–300. DOI: 10.1080/10495398.2021.1960360.
21. Lozada-Soto E. A., Tiezzi F., Jiang J., Cole J. B., VanRaden P. M., Maltecca C. Genomic characterization of autozygosity and recent inbreeding trends in all major breeds of US dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105, No. 11. Pp. 8956–8971. DOI: 10.3168/jds.2022-22116.
22. Visser C., Lashmar S. F., Reding J., Berry D. P., Van Marle-Köster E. Pedigree and genome-based patterns of homozygosity in the South African Ayrshire, Holstein, and Jersey breeds // *Frontiers in Genetics*. 2023. No. 14. Article number 1136078. DOI: 10.3389/fgene.2023.1136078.
23. Makanjuola B. O., Miglior F., Abdalla E. A., Maltecca C., Schenkel F. S., Baes C. F. Effect of genomic selection on rate of inbreeding and coancestry and effective population size of Holstein and Jersey cattle populations // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, No. 6. Pp. 5183–5199. DOI: 10.3168/jds.2019-18013.
24. Cortes-Hernández J. G., Ruiz-López F. J., Vásquez-Peláez C. G., García-Ruiz A. Runs of homozygosity and its association with productive traits in Mexican Holstein cattle // *PLoS One*. 2022. Vol. 17, No. 9. Article number 0274743. DOI: 10.1371/journal.pone.0274743.
25. Liu D., Chen Z., Zhao W., Guo L., Sun H., Zhu K., Liu G., Shen X., Zhao X., Wang Q., Ma P., Pan Y. Genome-wide selection signatures detection in Shanghai Holstein cattle population identified genes related to adaptation, health and reproduction traits // *BMC Genomics*. 2021. Vol. 22, No. 1. Article number 747. DOI: 10.1186/s12864-021-08042-x.
26. 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 ROH паттернов // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 2. С. 257–274. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus
27. Смарагдов М. Г., Кудинов А. А. Полногеномная оценка инбридинга у молочного скота // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. № 6. С. 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10612.
28. Недашковский И. С., Сермягин А. А., Костюнина О. В., Волкова В. В., Гладырь Е. А., Янчуков И. Н. Популяционно-генетическая характеристика, оценка геномного инбридинга и гомозиготности крупного рогатого скота черно-пестрой и голштинской пород по STR и SNP маркерам в России // *Вестник Пермского университета. Серия: Биология*. 2021. № 4. С. 295–306. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-4-295-306.
29. Недашковский И. С., Сермягин А. А., Костюнина О. В., Янчуков И. Н., Зиновьева Н. А. Влияние уровня геномного инбридинга, оцененного по ROH-паттернам, на воспроизводительные качества и молочную продуктивность дочерей, а также спермопродукцию голштинских быков-производителей // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35, № 3. С. 39–45. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10307.
30. Croquet C., Mayeres P., Gillon A., Vanderick S., Gengler N. Inbreeding depression for global and partial economic indexes, production, type, and functional traits // *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89, No. 6. Pp. 2257–2267. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72297-4.
31. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle // *Genetics Selection Evolution*. 2020. Vol. 52, No. 1. Article number 64. DOI: 10.1186/s12711-020-00583-1.
32. Rokouei M., Vaez Torshizi R., Moradi Shahrabak M., Sargolzaei M., Sørensen A. C. Monitoring inbreeding trends and inbreeding depression for economically important traits of Holstein cattle in Iran // *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93, No. 7. Pp. 3294–3302. DOI: 10.3168/jds.2009-2748.
33. Bjelland D. W., Weigel K. A., Vukasinovic N., Nkrumah J. D. Evaluation of inbreeding depression in Holstein cattle using whole-genome SNP markers and alternative measures of genomic inbreeding // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96, No. 7. Pp. 4697–4706. DOI: 10.3168/jds.2012-6435.
34. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle // *Genetics Selection Evolution*. 2019. Vol. 51, Article number 54. DOI: 10.1186/s12711-019-0497-z.
35. Makanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. S., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins // *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21, No. 1. Article number 605. DOI: 10.1186/s12864-020-07031-w.

36. Dijkstra F. J., Sotomaior V. S., Sotomaior C. S. Inbreeding and Its Effects on the Holstein Breed // Research, Society and Development. 2022. Vol. 11, No. 8. Article number e58411831288. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31288.
37. 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: 12.11.2022).
38. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M. A., Bender D., Maller J., Sklar P., de Bakker P. I., Daly M. J., Sham P. C. PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses // American Journal of Human Genetics. 2007. No. 81. Pp. 559–575. DOI: 10.1086/519795.
39. Biscarini F., Cozzi P., Gaspa G., Marras G. detectRUNS: Detect Runs of Homozygosity and Runs of Heterozygosity in Diploid Genomes [Электронный ресурс] // R package version 0.9.6. – 2019. URL: <https://CRAN.Rproject.org/package=detectRUNS> (дата обращения: 15.03.2022).
40. 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.
41. Stoffel M., Esser M., Kardos M., Humble E., Nichols H. J., David P., Hoffman J. I. inbreedR: An R package for the analysis of inbreeding based on genetic markers // Methods in Ecology and Evolution. 2016. Vol. 7, No. 11. Pp. 1331–1339. DOI: 10.1111/2041-210X.12588.
42. Shapiro S. S., Wilk M. B. An analysis of variance test for normality // Biometrika. 1965. Vol. 52, No. 3. Pp. 591–611.
43. Van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., Bren M. Compositions: Compositional Data Analysis [Электронный ресурс] // R package version 2.0-6. 2023. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=compositions> (дата обращения: 09.01.2023).

Об авторах:

Полина Сергеевна Богатова, аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории молекулярных и биологических исследований, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-6584-2394, AuthorID 1082327.

E-mail: polina.bogatova.me@gmail.com

Георгий Александрович Лиходеевский, аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории молекулярных и биологических исследований, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2616-2166, AuthorID 1110511.

E-mail: georglihodey@gmail.com

Оксана Евгеньевна Лиходеевская, кандидат биологических наук, доцент, заведующая научно-исследовательской лабораторией молекулярных и биологических исследований, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-5976-6030, AuthorID 369070.

E-mail: lixodeevskaya@mail.ru

References

1. Stachowicz K., Sargolzaei M., Miglior F., Schenkel, F. S. Rates of inbreeding and genetic diversity in Canadian Holstein and Jersey cattle. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94 (10): 5160–5175. DOI: 10.3168/jds.2010-3308.
2. Wright S. Coefficients of Inbreeding and Relationship. *The American Naturalist*. 1922; 56 (645): 330–338.
3. Kislovskiy D. A. Selected works. Moscow: Kolos. 1965. 465 p. (In Russ.)
4. Donnik I. M., Mymrin V. S., Loretts O. G., Sevost'yanov M. Yu., Likhodeevskaya O. E., Barashkin M. I. The distribution of cows in breeding farms of sverdlovsk region in the degree of inbreeding. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 4: 30–32. (In Russ.)
5. Signer-Hasler H, Burren A, Neuditschko M, Frischknecht M, Garrick D, Stricker C, Gredler B, Bapst B, Flury C. Population structure and genomic inbreeding in nine Swiss dairy cattle populations. *Genetics Selection Evolution*. 2017; 49: 83. DOI: 10.1186/s12711-017-0358-6.
6. Addo S., Klingel S., Hinrichs D., Thaller G. Runs of Homozygosity and NetView analyses provide new insight into the genome-wide diversity and admixture of three German cattle breeds. *PLoS ONE*. 2019; 14 (12): e58411831288. DOI: 10.1371/journal.pone.0225847.
7. Kardos M., Luikart G., Allendorf F. W. Measuring individual inbreeding in the age of genomics: marker-based measures are better than pedigrees. *Heredity*. 2015; 115 (1): 63–72. DOI: 10.1038/hdy.2015.17.
8. Donnik I. M., Mymrin V. S., Loretts O. G., Sevost'yanov M. Yu., Likhodeevskaya O. E., Barashkin M. I. The influence of inbreeding on a live weight of cows, the cost effectiveness of inbreeding and production recommendation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 6: 6–8. (In Russ.)

9. Donnik I. M., Mymrin V. S., Loretts O. G., Sevost'yanov M. Yu., Likhodeevskaya O. E., Barashkin M. I. Influence of inbreeding on milk producing ability, milk quality and reproductive ability of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 5: 15–19. (In Russian.)
10. Gorelik O. V., Yurchenko N. A., Likhodeevskaya O. E., Kharlap S. Yu. Effectiveness of inbreeding in dairy cattle breeding. *Logistics in the Agro-Industrial Complex: Trends and Development Prospects*: collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific conference. Novosibirsk, 2020. Pp. 101–104. (In Russ.)
11. Yurchenko N. A., Gorelik O. V., Likhodeevskaya O. E. Influence of inbreeding degree on productive longevity of cows. *Agrarian Science for Agriculture*: collection of materials of the XV International scientific and practical conference. In 2 vol. Barnaul, 2020. Vol. 2. Pp. 265–266. (In Russ.)
12. Nedashkovskiy I. S., Kostyunina O. V., Volkova V. V., Ermilov A. N., Sermyagin A. A. Estimation of the breeding value of Holstein sire by the quality of offspring in connection with the homosygyity level calculated by STR-markers. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev*. 2019; 3: 36–42. (In Russ.)
13. Nedashkovskiy I. S., Konte A. F., Volkova V. V., Sermyagin A. A. The influence of the level of homozygosity for STR-markers of Holstein sires on the indicators of inheritance of the body type of their daughters on the basis of linear assessment. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022; 4: 294–302. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-35. (In Russ.)
14. Abdel'manova A. S., Dotsev A. V., Mishina A. I., Shakhin A. V., Zinov'yeva N. A. Genomic assessment of inbreeding in the Kholmogor, Yaroslavl and Holstein breeds of cattle. *Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2019; 8: 21–23. DOI: 10.33943/MMS.2019.71.27.007. (In Russ.)
15. Dutch breed. *Agricultural Encyclopedic Dictionary*. Moscow: Soviet encyclopedia, 1989. P. 108. (In Russ.)
16. Li C. C., Horvitz D. G. Some methods of estimating the inbreeding coefficient. *The American Journal of Human Genetics*. 1953; 5: 107–117.
17. Gibson J., Morton N. E., Collins A. Extended tracts of homozygosity in outbred human populations. *Human Molecular Genetics*. 2006; 15 (5): 789–795. DOI: 10.1093/hmg/ddi493.
18. Slate J., David P., Dodds K. G., Veenliet B. A., Glass B. C., Broad T. E., McEwan J. C. Understanding the relationship between the inbreeding coefficient and multilocus heterozygosity: theoretical expectations and empirical data. *Heredity*. 2004; 93: 255–265. DOI: 10.1038/sj.hdy.6800485.
19. Dadousis C., Ablondi M., Cipolat-Gotet C., van Kaam J. T., Finocchiaro R., Marusi M., Cassandro M., Sabbioni A., Summer A. Genomic inbreeding coefficients using imputed genotypes: assessing differences among SNP panels in Holstein-Friesian dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1142476. DOI: 10.3389/fvets.2023.1142476.
20. Hajihosseini A., Nejati-Javaremi A., Miraei-Ashtiani S. R. Genetic structure analysis in several populations of cattle using SNP genotypes. *Animal Biotechnology*. 2023; 34 (2): 288–300. DOI: 10.1080/10495398.2021.1960360.
21. Lozada-Soto E. A., Tiezzi F., Jiang J., Cole J. B., VanRaden P. M., Maltecca C. Genomic characterization of autozygosity and recent inbreeding trends in all major breeds of US dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105 (11): 8956–8971. DOI: 10.3168/jds.2022-22116.
22. Visser C., Lashmar S. F., Reding J., Berry D. P., van Marle-Köster E. Pedigree and genome-based patterns of homozygosity in the South African Ayrshire, Holstein, and Jersey breeds. *Frontiers in Genetics*. 2023; 14: Article number 1136078. DOI: 10.3389/fgene.2023.1136078.
23. Makanjuola B. O., Miglior F., Abdalla E. A., Maltecca C., Schenkel F. S., Baes C. F. Effect of genomic selection on rate of inbreeding and coancestry and effective population size of Holstein and Jersey cattle populations. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103 (6): 5183–5199. DOI: 10.3168/jds.2019-18013.
24. Cortes-Hernández J. G., Ruiz-López F. J., Vásquez-Peláez C. G., García-Ruiz A. Runs of homozygosity and its association with productive traits in Mexican Holstein cattle. *PLoS One*. 2022; 17 (9): 0274743. DOI: 10.1371/journal.pone.0274743.
25. Liu D., Chen Z., Zhao W., Guo L., Sun H., Zhu K., Liu G., Shen X., Zhao X., Wang Q., Ma P., Pan Y. Genome-wide selection signatures detection in Shanghai Holstein cattle population identified genes related to adaptation, health and reproduction traits. *BMC Genomics*. 2021; 22: 747. DOI: 10.1186/s12864-021-08042-x.
26. Sermyagin A. A., Bykova O. A., Loretts O. G., Kostyunina O. V., Zinoviyeva N. A. Genomic variability assess for breeding traits in Holsteinized Russian black-and-white cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology*. 2020; 55 (2): 257–274. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus.
27. Smaragdov M. G., Kudinov A. A. Full genome inbreeding assessment of dairy cattle. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019. No. 6: 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10612.
28. Nedashkovskiy I. S., Sermyagin A. A., Kostyunina O. V., Volkova V. V., Gladyr' E. A., Yanchukov I. N. Population and genetic features, genomic inbreeding and homozygosity level for black-and-white and Holstein breeds by STR and SNP markers in Russia. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2021; 4: 295–306. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-4-295-306. (In Russ.)

29. Nedashkovskiy I. S., Sermyagin A. A., Kostyunina O. V., Yanchukov I. N., Zinov'yeva N. A. Influence of the level of genomic inbreeding assessed by roh-patterns on reproductive qualities and milk productivity of daughters and sperm productivity of holstein sires. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 35 (3): 39–45. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10307. (In Russ.)
30. Croquet C., Mayeres P., Gillon A., Vanderick S., Gengler N. Inbreeding depression for global and partial economic indexes, production, type, and functional traits. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89 (6): 2257–2267. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72297-4.
31. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2020; 52: 64. DOI: 10.1186/s12711-020-00583-1.
32. Rokouei M., Vaez Torshizi R., Moradi Shahrababak M., Sargolzaei M., Sørensen A. C. Monitoring inbreeding trends and inbreeding depression for economically important traits of Holstein cattle in Iran. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93 (7): 3294–3302. DOI: 10.3168/jds.2009-2748.
33. Bjelland D. W., Weigel K. A., Vukasinovic N., Nkrumah J. D. Evaluation of inbreeding depression in Holstein cattle using whole-genome SNP markers and alternative measures of genomic inbreeding. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96 (7): 4697–4706. DOI: 10.3168/jds.2012-6435.
34. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2019; 51 (1): 54. DOI: 10.1186/s12711-019-0497-z.
35. Makanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. S., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins. *BMC Genomics*. 2020; 21 (1): 605. DOI: 10.1186/s12864-020-07031-w.
36. Dijkina F. J., Sotomaior V. S., Sotomaior C. S. Inbreeding and Its Effects on the Holstein Breed. *Research, Society and Development*. 2022; 11 (8): e58411831288. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31288.
37. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria [Internet] 2022 [cited 2022 Nov 12]. Available from: <https://www.r-project.org>.
38. Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M. A., Bender D., Maller J., Sklar P., de Bakker P. I., Daly M. J., Sham P. C. PLINK: A tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American Journal of Human Genetics*. 2007; 81: 559–575. DOI: 10.1086/519795.
39. Biscarini F., Cozzi P., Gaspa G., Marras G. detectRUNS: Detect Runs of Homozygosity and Runs of Heterozygosity in Diploid Genomes. R package version 0.9.6. 2019. [Internet] [cited 2022 Mar 15]. Available from: <https://CRAN.Rproject.org/package=detectRUNS>.
40. 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; 21 (1): 94. DOI: 10.1186/s12864-020-6463-x.
41. Stoffel M., Esser M., Kardos M., Humble E., Nichols H. J., David P., Hoffman J. I. inbreedR: An R package for the analysis of inbreeding based on genetic markers. *Methods in Ecology and Evolution*. 2016; 7 (11): 1331–1339. DOI: 10.1111/2041-210X.12588.
42. Shapiro S. S., Wilk M. B. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*. 1965; 52 (3): 591–611.
43. Van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., Bren M. compositions: Compositional Data Analysis. R package version 2.0-6 [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 1]. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=compositions>.

Authors' information:

Polina S. Bogatova, postgraduate, junior researcher, research laboratory of molecular and biological research, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-6584-2394, AuthorID 1082327.

E-mail: polina.bogatova.me@gmail.com

Georgiy A. Likhodeevskiy, postgraduate, junior researcher, research laboratory of molecular and biological research, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2616-2166, AuthorID 1110511.

E-mail: georglihodey@gmail.com

Oksana E. Likhodeevskaya, candidate of biological sciences, associate professor, head of the research laboratory of molecular and biological research, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-5976-6030, AuthorID 369070. *E-mail: lixodeevskaya@mail.ru*

Некоторые особенности токсикологических свойств специфического иммунобиостимулятора «Трансфер-фактор» в доклинических испытаниях

П. В. Бурков¹, П. Н. Щербаков¹, М. А. Дерхо¹, М. Б. Ребезов^{2,3✉}, А. О. Дерхо¹

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: rebezov@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – оценить некоторые аспекты токсикологической безопасности специфического иммунобиостимулятора «Трансфер-фактор» в моделях лабораторных животных. **Методы.** Эксперименты выполнены на мышах, крысах и морских свинках. Оценка токсикологической безопасности препарата «Трансфер-фактор» включала определение следующих характеристик: хроническая токсичность, оценка специфической активности, оценка эмбриотоксических и тератогенных свойств, оценка аллергизирующих свойств. **Результаты.** Установлено, что введение препарата «Трансфер-фактор» в хроническом токсикологическом эксперименте сопровождается развитием в организме грызунов тремора мышц, продолжительность которого зависит от вводимой дозы, способа введения и времени экспозиции, но при этом увеличивается их масса тела на 6,29–10,63 %. При аутопсии животных опытных групп не выявлено видимых изменений в расположении внутренних органов и скопления жидкости в брюшной и плевральной полостях, хотя отмечены некоторые патологические изменения цвета, консистенции и размера легких, селезенки, печени и сердца. Массовые коэффициенты данных органов изменяются на фоне увеличения дозы препарата «Трансфер-фактор», особенно при внутрибрюшинном способе введения, до 10,39 %. Тестируемый препарат в реакции бласттрансформации лимфоцитов увеличивает количество бластов с 0,20 до 1,40 %. Совокупность данных позволяет констатировать, что препарат «Трансфер-фактор» в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 относится к IV классу опасности «вещества малоопасные» и может быть рекомендован для дальнейших клинических испытаний, в которых не будет использована дозировка, превышающая 6 мл/кг живой массы, при введении которой у лабораторных животных развивается комплекс изменений во внутренних органах. **Научная новизна.** Введение «Трансфер-фактора» не оказывает влияния на состояние и функции репродуктивных органов (матка, яичники) беременных крыс, а также не проявляет отрицательного эмбриотоксического и тератогенного эффекта в их организме. При исследовании аллергизирующих свойств препарата выявлено, что он не вызывает в организме морских свинок реакцию общей анафилактики, не оказывает раздражающего действия на кожу в реакции иммунных комплексов и конъюнктиву глаза в конъюнктивальном тесте.

Ключевые слова: трансфер-фактор, острая токсичность, мыши, крысы, морские свинки, аллергизирующие свойства, бласттрансформация лейкоцитов

Благодарности. Исследования выполнены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (соглашение № 22-16-20007 от 25.03.2022 г.).

Для цитирования: Бурков П. В., Щербаков П. Н., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Дерхо А. О. Некоторые особенности токсикологических свойств специфического иммунобиостимулятора «Трансфер-фактор» в доклинических испытаниях // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1172–1192. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1172-1192>.

Дата поступления статьи: 12.07.2024, **дата рецензирования:** 19.08.2024, **дата принятия:** 22.08.2024.

Some features of toxicological properties of a specific immunobiostimulator “Transfer factor” in preclinical trials

P. V. Burkov¹, P. N. Shcherbakov¹, M. A. Derkho¹, M. B. Rebezov^{2,3✉}, A. O. Derkho¹

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: rebezov@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is to evaluate some aspects of toxicological safety of a specific immunobiostimulant “Transfer factor” in laboratory animal models. **Methods.** The experiments were performed on mice, rats and guinea pigs. The toxicological safety assessment of the “Transfer factor” preparation included the determination of the following characteristics: chronic toxicity, assessment of specific activity, assessment of embryotoxic and teratogenic properties, assessment of allergenic properties. **Results.** It was established that the introduction of the “Transfer factor” preparation in a chronic toxicological experiment is accompanied by the development of muscle tremor in the rodents’ body, the duration of which depends on the administered dose, route of administration and exposure time, but their body weight increases by 6.29–10.63 %. Autopsy of experimental group animals revealed no visible changes in the arrangement of internal organs and fluid accumulation in the abdominal and pleural cavities, although some pathological changes in color, consistency and size of the lungs, spleen, liver and heart were noted. The mass coefficients of these organs change with an increase in the dose of the administered drug “Transfer factor”, especially with the intraperitoneal route of administration up to 10.39 %. The tested drug in the reaction of lymphocyte blast transformation increases the number of blasts from 0.20 to 1.40 %. The totality of data allows us to state that the drug “Transfer factor” in accordance with GOST 12.1.007-76 belongs to the IV hazard class “low-hazard substances” and it can be recommended for further clinical trials, in which a dosage exceeding 6 ml/kg of live weight will not be used, when administered to laboratory animals, a complex of changes in the internal organs develops. **Scientific novelty.** The introduction of “Transfer factor” does not affect the condition and functions of the reproductive organs (uterus, ovaries) of pregnant rats, and the drug does not exhibit a negative embryotoxic and teratogenic effect in their body. When studying the allergenic properties of the drug, it was found that it does not cause a general anaphylaxis reaction in the body of guinea pigs, does not irritate the skin in the reaction of immune complexes and the conjunctiva of the eye in the conjunctival test.

Keywords: transfer factor, acute toxicity, mice, rats, guinea pigs, allergenic properties, leukocyte blast transformation

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the regional competition of the Russian Science Foundation 2021 “Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by individual scientific groups” (agreement No. 22-16-20007 dated March 25, 2022).

For citation: Burkov P. V., Shcherbakov P. N., Derkho M. A., Rebezov M. B., Derkho A. O. Some features of toxicological properties of a specific immunobiostimulator “Transfer factor” in preclinical trials. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1172–1192. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1172-1192>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.07.2024, **date of review:** 19.08.2024, **date of acceptance:** 22.08.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Неотъемлемой частью доклинических испытаний является оценка всех видов токсичности нового лекарственного препарата, поскольку только те соединения, которые продемонстрировали безопасность применения, могут быть апробированы в клинических исследованиях [1]. При этом под безопасностью фармакологических препаратов понимают баланс между его терапевтической эффективностью и риском развития различных эффектов, включая и токсические [2].

Для характеристики токсикологических свойств новых фармсредств для ветеринарного применения используется несколько моделей, позволяющих оценить и прогнозировать действие соединений в организме животных с учетом специфики их метаболизма [3]. Алгоритм исследований определяется правилами лабораторной практики, регламентируемыми федеральным законодательством [4] и нормативными принципами [5], в совокупности позволяющими выполнить точный сбор токсикологических данных. При этом в качестве объекта исследований

используется несколько видов экспериментальных животных, имеющих сходство с животным организмом, для которого разрабатывается препарат, с точки зрения развития различных процессов живых (биологических) систем.

Модель доклинических испытаний позволяет охарактеризовать определенные свойства тестируемых препаратов, среди которых важную роль играют токсикологические характеристики действующего вещества (общетоксические свойства, местная переносимость, гено-, репродуктивно- и иммунотоксичность, канцерогенность и т. д.) [2], так как они определяют его потенциальную безопасность для животного организма, а также являются решающими при определении суточной дозы введения разрабатываемого препарата.

Однако необходимо четко соблюдать баланс между экспериментами *in vivo* и *in vitro* с учетом требований процедуры оценки безопасности лекарственного средства и этических соображений при использовании животных [6].

Токсические эффекты действующего вещества разрабатываемых препаратов наиболее ярко проявляются в органах-мишенях животного организма. При этом они дозозависимы, сопряжены с экспозицией и потенциальной обратимостью действия [7]. Согласно данным [8], токсические реакции животного организма на лекарства – это «биологические реакции на чужеродные вещества». Их проявление обусловлено наличием молекулярных мишеней, которые можно делить на две категории: целевые и нецелевые. В то же время существует точка зрения, что лекарственные препараты по своей сути токсичны, так как для живого организма являются ксенобиотиками [9] и инициируют изменения на молекулярном, клеточном и/или тканевом уровнях.

Модель дисбаланса – это результат формирования адаптационного процесса в животном организме на фоне фармакологической активности препарата, определяющего риски при его использовании [10].

В работе [11] утверждается, что токсикологический эффект, проявляющийся в ходе тестирования фармпрепарата, можно рассматривать как неблагоприятный результат, который позволяет проанализировать механизмы токсичности и корректировать их за счет внесения изменений в структуру и свойства нового препарата.

Поэтому при разработке новых фармакологических препаратов раннее выявление проблем с их токсичностью предотвращает неудачи на поздних этапах исследований [6].

При этом основными аспектами, формирующими прогноз о безопасности лекарственных форм, являются результаты определения его острой и хронической токсичности [12].

Цель настоящего исследования включала оценку некоторых аспектов токсикологической безопасности специфического иммунобиостимулятора «Трансфер-фактор» в моделях лабораторных животных (хроническая токсичность, эмбрио-, тератогенные и аллергизирующие свойства, специфическая активность лимфоцитов).

Методология и методы исследования (Methods)

Особенности токсикологических свойств препарата «Трансфер-фактор» изучены в лаборатории иммунологии и патобиохимии Уральского научно-исследовательского ветеринарного института (Уральского НИВИ, г. Екатеринбург, Россия), имеющей аккредитацию на проведение данных исследований. Исследования проводились по договору с ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ (г. Челябинск, Россия).

Протокол экспериментальных исследований был одобрен комитетом по биоэтике ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», далее по тексту УрФАНИЦ УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия). Уральский НИВИ является структурным подразделением УрФАНИЦ УрО РАН.

Работа планировалась и проводилась в соответствии с учебным пособием «Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте» [13] и Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ [14; 15].

Общая характеристика препарата «Трансфер-фактор»

Препарат «Трансфер-фактор» – это специфический иммунобиостимулятор, полученный из крови крупного рогатого скота, вакцинированного против респираторно-репродуктивной и цирковирусной инфекции свиней, при помощи современных биотехнологических методов [16–20]. Его действующим веществом являются белки и пептиды, полученные из лейкоцитов крови гипериммунизированных доноров.

Внешний вид и цвет препарата «Трансфер-фактор», представленного для испытания, определялся визуально. Установлено, что он представляет собой прозрачную, слегка опалесцирующую жидкость, соответствующая заявленным органолептическим показателям.

Характеристика животных

Лабораторные животные в первый раз использовались в экспериментальной работе. Для этого они все прошли через 14-суточный карантин. У них визуально были оценены состояние здоровья и возможность использования в работе.

Содержание животных и уход за ними регламентировалось Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 199н от 01.04.2016

«Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики» [21], ГОСТ 33216-2014 [22] и ГОСТ 33215-2014 [23].

Основным кормом в рационе лабораторных животных являлся комбикорм, рецептура которого соответствовала биологическим потребностям организма грызунов. Комбикорм был изготовлен на Богдановичском комбикормовом заводе (г. Богдановичи, Россия) по ГОСТ 34566-2019 [24]. Кроме этого, животные имели свободный доступ к водопроводной питьевой воде. Ее качество и безопасность соответствовали ГОСТ Р 51232-98 [25].

Лабораторные животные содержались в помещениях вивария Уральского НИВИ. Микроклимат характеризовался стандартными условиями, в которых контролировался режим освещения (12-часовой цикл света и темноты), температура воздуха (20–22 °С) и относительная влажность (50–60 %). Последние определялись при помощи гигрометра психрометрического ВИТ-2 (АО «Термоприбор», Россия), показания которого регистрировались ежедневно. Средства измерения поверены.

В качестве критерия здоровья лабораторных животных использовали массу тела. Она служила основанием для их включения в опытные группы. Массу тела лабораторных животных определяли путем индивидуального взвешивания на весах CAS SW-10 (Южная Корея). Средства измерения поверены.

Разброс особей по массе тела, оцененный при помощи коэффициента вариации, в опытных группах не превышал 10 %.

Для каждой экспериментальной модели опытные группы формировались за 5 дней до начала работы. При этом каждая особь маркировалась.

Оценка токсикологической безопасности препарата «Трансфер-фактор» включала определение следующих характеристик (рис. 1).

1. *Хроническая токсичность.* Мы использовали минимальную продолжительность хронического

эксперимента – 14 дней. Она изучалась на двух видах грызунов, опытные группы формировались из самок:

а) белых мышей. Их возраст составлял 9–10 недель, масса тела – 18–22 г. В эксперименте участвовало 40 особей;

б) белых крыс. Возраст животных варьировал от 8 до 10 недель, масса тела – от 150 до 160 г. В работе использовано 40 особей.

Биологические особенности лабораторных животных, из которых были созданы опытные группы, характеризовались тем, что особи были половозрелыми, условно здоровыми, не имели в анамнезе беременность и роды. Сорок белых мышей случайным образом были рандомизированы в четыре группы по 10 голов в каждой.

Аналогичный подход был использован и при формировании опытных групп из белых крыс.

Всего было сформировано восемь опытных групп.

Тестируемый препарат вводился лабораторным животным ежедневно в следующих дозировках (таблица 1).

Детальный осмотр животных проводили 1 раз в день по общепринятой схеме. Обращали внимание на смертность, пищевое поведение (потребление корма, воды), состояние кожи и волосяного покрова, цвет видимых слизистых оболочек, поведенческую активность. В то же время массу тела грызунов измеряли один раз в неделю.

Эксперимент заканчивался эвтаназией, при проведении которой руководствовались принципами гуманного отношения к животным. После эвтаназии была выполнена аутопсия, в ходе которой проводили взвешивание внутренних органов с целью расчета их массовых коэффициентов [14].

2. *Оценка специфической активности.* Для этих целей использовали реакцию бласттрансформации лейкоцитов (лимфоцитов), основанной на их способности переходить в бластоподобные формы под действием определенных антигенов [26].



Рис. 1. Оценка токсикологической безопасности препарата «Трансфер-фактор»

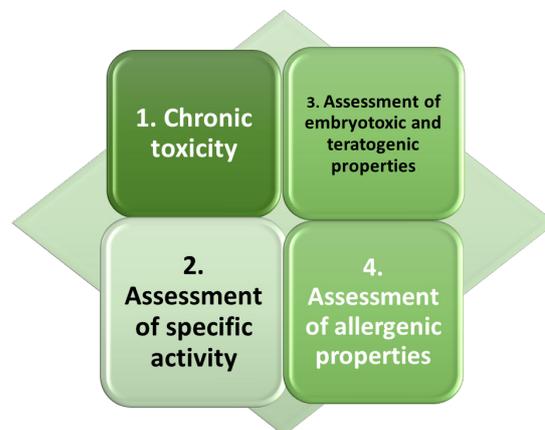


Fig. 1. Assessment of toxicological safety of the drug "Transfer Factor"

Таблица 1
Экспериментальный дизайн

Вид лабораторных животных	Маркировка опытных групп	Способ введения препарата	Суточная доза препарата, мл/гол
Белые мыши ($n = 10$)	I	Внутримышечно	0,10
Белые мыши ($n = 10$)	II	Внутримышечно	0,25
Белые мыши ($n = 10$)	III	Внутрибрюшинно	0,50
Белые мыши ($n = 10$)	IV	Внутрибрюшинно	0,75
Белые крысы ($n = 10$)	V	Внутримышечно	1,00
Белые крысы ($n = 10$)	VI	Внутримышечно	2,50
Белые крысы ($n = 10$)	VII	Внутрибрюшинно	2,50
Белые крысы ($n = 10$)	VIII	Внутрибрюшинно	3,75

Table 1
Experimental design

Type of laboratory animals	Labeling of experimental groups	Route of administration of the drug	Daily dose of the drug, ml/head
White mice ($n = 10$)	I	Intramuscularly	0.10
White mice ($n = 10$)	II	Intramuscularly	0.25
White mice ($n = 10$)	III	Intraperitoneally	0.50
White mice ($n = 10$)	IV	Intraperitoneally	0.75
White rats ($n = 10$)	V	Intramuscularly	1.00
White rats ($n = 10$)	VI	Intramuscularly	2.50
White rats ($n = 10$)	VII	Intraperitoneally	2.50
White rats ($n = 10$)	VIII	Intraperitoneally	3.75

Таблица 2
Дизайн экспериментов по изучению эмбриотоксических и тератогенных свойств препарата

Маркировка опытных групп	Способ введения препарата	Суточная доза, мл/гол	Препарат
I группа (опытная)	Подкожно	2,50 мл/гол	Трансфер-фактор
II группа (контрольная)			Физиологический раствор
III группа (опытная)		3,75 мл/гол	Трансфер-фактор
IV группа (контрольная)			Физиологический раствор

Table 2
Design of experiments to study the embryotoxic and teratogenic properties of the drug

Labeling of experimental groups	Method of drug administration	Daily dose, ml/head	Preparation
Group I (experimental)	Subcutaneously	2.50	Transfer factor
Group II (control)			Saline
Group III (experimental)		3.75	Transfer factor
Group IV (control)			Saline

3. Оценка эмбриотоксических и тератогенных свойств. В данных исследованиях использовались беременные белые крысы. В начале эксперимента их масса тела колебалась от 150 до 160 г.

Период введения препарата «Трансфер-фактор» и наблюдения за животными колебался с 1-го по 19-й день беременности.

Дизайн эксперимента приведен в таблице 2.

Он основан на формировании четырех групп животных по 10 особей в каждой. Беременным крысам опытных групп (I и III группы) препарат

«Трансфер-фактор» вводили подкожно. Суточная доза составляла 2,50 и 3,75 мл/гол соответственно. Животным II и IV групп (контрольные) по той же схеме вводили аналогичный объем физиологического раствора.

Эксперимент заканчивался эвтаназией беременных крыс. Ее выполняли на 20-й день беременности, т. е. по завершении курса введения препарата «Трансфер-фактор».

Эвтаназию проводили путем дислокации шейных позвонков.

Экспериментальный дизайн для изучения реакции общей анафилаксии

Маркировка опытных групп	Интъектируемый препарат	Доза, мл/кг	I инъекция	II и III инъекции	Интервал между инъекциями
I группа (опытная)	«Трансфер-фактор»	0,1	Подкожно	Внутримышечно в области бедра	24 часа
II группа (контрольная)	Физраствор				
III группа (опытная)	«Трансфер-фактор»	1,0			
IV группа (контрольная)	Физраствор				

Table 3

Experimental design for studying the reaction of general anaphylaxis

Labeling of experimental groups	Injectable drug	Dose, ml/kg	I injection	II and III injections	Interval between injections
Group I (experimental)	“Transfer factor”	0.1	Subcutaneously	Intramuscularly in the thigh area	24 hours
Group II (control)	Physical solution				
Group III (experimental)	“Transfer factor”	1.0			
Group IV (control)	Physical solution				

После этого трупы беременных самок вскрывали. Сначала у каждой беременной крысы разрезали брюшную полость и извлекали матку. Далее её помещали в чашку Петри, заполненную физиологическим раствором, что позволило отмыть орган от крови.

Затем проводили вскрытие рогов матки. Это позволило визуализировать содержащиеся в ней плоды и провести их подсчет (живые, мертвые, резорбированные).

Кроме этого, оценивалось состояние плаценты и эндометрия. В плаценте особое внимание уделяли наличию мест имплантации плодов.

При оценке состояния яичников крыс опытных групп учитывали количество желтых тел.

Плоды, извлеченные из матки крыс после их эвтаназии, взвешивали и подвергали наружному осмотру с определением кранио-каудального размера и пола.

Все извлеченные плоды были разделены на две части.

Первую часть фиксировали в жидкости Буэна. Через 2 недели фиксации их использовали для определения состояния внутренних органов плода по методике Вильсона, регистрируя наличие отклонений.

Вторую часть плодов фиксировали 2 недели в 96-градусном этиловом спирте. Фиксированные образцы промывали в проточной воде, выдерживали в растворе гидроксида калия и окрашивали ализарином по методике Доусона.

Образцы окрашенных плодов изучали в проходящем свете с помощью стереомикроскопа, определяя степень окостенения в грудине, количество ребер, развитие позвоночника, наличие аномалий в костях. Это позволило изучить состояние костной системы у извлеченных плодов [14].

4. Оценка алергизирующих свойств, то есть способности действующего вещества тестируемого препарата вызывать в организме животных после его введения различные виды гиперчувствительности [15].

Аллергизирующие свойства препарата «Трансфер-фактор» изучали в следующих реакциях и тестах:

4.1. Реакция общей анафилаксии

Оценка анафилактогенной активности выполнена с использованием морских свинок. Данный тест является обязательным при исследовании новых лекарственных средств [15]. Для инициации анафилактического шока из морских свинок по принципу пар-аналогов сформировали четыре группы ($n = 10$).

Сенсибилизацию организма свинок опытных групп (I и III группы) инициировали подкожным и внутримышечным введением тестируемого препарата. В контрольных группах (II и IV группы) животных препарат заменяли физиологическим раствором.

Дизайн сенсибилизации животных для изучения реакции общей анафилаксии представлен в таблице 3.

Разрешающая внутрисердечная доза препарата «Трансфер-фактор» рассчитывалась как сумма сенсибилизирующих доз. Она вводилась морским свинкам на 14-й день после последней сенсибилизирующей инъекции. Разрешающая доза для животных I опытной группы составила 0,3 мл/кг, а для III – 3,0 мл/кг. Разрешающая инъекция животным контрольных групп (II и IV) была выполнена с использованием физиологического раствора [14]. Алергические реакции, развившиеся у морских свинок после внутрисердечной инъекции, наблюдали и оценивали на основе симптомов в течение 30 минут.

4.2. Реакции иммунных комплексов

Для проведения реакции сформировали две опытные группы из морских свинок ($n = 10$). Морские свинки были сенсibilизированы путем пятикратной подкожной инъекции препарата «Трансфер-фактор», разведенного физиологическим раствором, с интервалом 6 дней. В I опытной группе суточная доза препарата для введения была равна 0,1 мл/кг, а во II – превышала ее в 10 раз (1,0 мл/кг).

При этом учитывали общий объем вводимого препарата, который не превышал величины 0,2 мл.

Разрешающая доза «Трансфер-фактора» в объеме 0,05 мл была введена предварительно сенсibilизированным животным подкожно через 10 дней после последней инъекции.

Контролем служил участок кожи на противоположной стороне тела животных. В него инъецировали аналогичный объем физиологического раствора.

Учет местной воспалительной реакции (наличие эритемы, инфильтрации, отеков) проводили через 30 минут, 2 и 3 часа [14].

4.3. Конъюнктивальный тест

Методика проведения теста, во-первых, включает предварительную сенсibilизацию лабораторных животных. У морских свинок (10 особей) ее инициировали подкожным введением препарата «Трансфер-фактор» (доза 0,1 мл/кг). Во-вторых, роль аллергена при конъюнктивальном тесте выполнял тестируемый препарат («Трансфер-фактор»). Аллерген капали (1 капля) под верхнее веко правого глаза морских свинок через 14 дней после последней сенсibilизирующей инъекции.

Контролем при оценке конъюнктивального теста служил левый глаз животных. В него капали физиологический раствор.

В качестве точек учета реакции организма морских свинок на конъюнктивальный тест являлись следующие временные интервалы: через 15 минут, 24 и 48 часов.

Оценка состояния глаз (степень покраснения слезного протока, склеры, конъюнктивы) в данных точках характеризовали возможность развития быстрой аллергической реакции и реакцию гиперчувствительности замедленного типа [14].

Статистическую обработку эмпирических данных проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics (США). Достоверными считали различия при $p \leq 0,05$.

Результаты (Results)

Хотя токсикологические исследования на животных и были выполнены с использованием различных протоколов, но все они соответствовали правилам лабораторной практики [14].

В совокупности результаты токсикологических анализов характеризуют местное и системное воздействие действующего вещества тестируемого препарата на животных и устанавливают связь

между введенной дозой и проявлением токсичности как результат его накопления в определенном органе и/или ткани [27].

Исследование хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор» позволило выявить определенные сдвиги в функционировании отдельных органов, тканей и систем в процессе его 14-суточного применения как результат накопления действующего вещества в организме животных или в исходном виде, или в виде метаболитов. При этом не было зарегистрировано смертельных случаев.

При оценке пищевого поведения лабораторных животных (потребление корма, воды) было установлено, что оно не имело межгрупповых различий и соответствовало физиологической норме. При этом волосяной покров грызунов сохранял блеск и гладкость, а видимые слизистые оболочки – бледно-розовый цвет.

В начале эксперимента у животных наблюдался тремор мышц, исчезающий через 15–20 минут после введения препарата «Трансфер-фактор». У мышей он развивался при внутримышечном и внутрибрюшинном способе введения суточной дозы тестируемого средства 0,25 мл/гол (II группа) и 0,50 мл/гол (III группа) соответственно, а у крыс – при внутримышечном (VI группа) и внутрибрюшинном (VII группа) способе введения дозы 2,50 мл/гол.

При использовании более высоких суточных доз продолжительность тремора достигала 40 минут. Это было выявлено у мышей и крыс при внутрибрюшинном введении «Трансфер-фактора» в количестве 0,75 мл/гол (IV группа) и 3,75 мл/гол (VIII группа) соответственно.

Значит, в эксперименте по определению хронической токсичности препарата была установлена взаимосвязь между дозой введенного препарата и длительностью тремора.

Положительным фактом является то, что к концу эксперимента продолжительность тремора после введения препарата в вышеописанных дозировках уменьшалась в 2 раза, что может быть связано или с привыканием организма лабораторных животных к компонентам исследуемого препарата, или запуском механизмов, повышающих скорость биотрансформации действующего вещества.

По данным [28], мышечный тремор является результатом попеременного или синхронного сокращения реципрокно иннервируемых мышц. В нашем исследовании он был «лекарственно индуцирован» и обусловлен введением препарата в более высоких дозах. Вероятно, тремор в ходе определения хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор» развивался за счет периферических механизмов, протекающих в мышцах [29].

Также важными аспектами мышечного тремора после введения «Трансфер-фактора» являются его постепенная регрессия и уменьшение длитель-

ности, что свидетельствует о высокой скорости метаболизма действующего вещества препарата и отсутствии органических повреждений в нервно-мышечном аппарате организма лабораторных животных.

Об уровне проявления препаратом «Трансфер-фактор» токсических свойств можно судить по массе тела лабораторных животных, так как она сопряжена с состоянием основного обмена, энергетически обеспечивающим функционирование органов и тканей, в том числе сопряженных с метаболическими потоками [30].

В то же время показатели роста и развития животного организма являются чувствительными индикаторами уровня его здоровья, так как обусловлены не только генетическими, но и средовыми факторами.

Например, при воздействии факторов, инициирующих в организме животных процессы воспаления, провоспалительные цитокины стимулируют катаболизм скелетных мышц, обеспечивая иммунные ткани аминокислотами и энергетическими

субстратами. При этом печень как основной орган метаболизма ориентирует метаболические потоки на производство белков острой фазы, обеспечивая защиту организма животных [31].

Анализ динамики массы тела в опытных группах, сформированных из белых мышей, выявил, что она в ходе эксперимента увеличивалась на 6,29–7,70 % (таблица 4), свидетельствуя об обеспеченности организма животных пластическим и энергетическим материалом, а также преобладании в общем метаболизме анаболически направленных процессов.

Следовательно, ежедневное введение препарата «Трансфер-фактор» независимо от суточной дозы и способа применения не отразилось на пищевом поведении мышей, способности усваивать компоненты корма и использовать их для построения структур организма и формирования метаболического статуса.

Аналогичная тенденция выявлена и в группах белых крыс. Прирост массы тела в ходе 14-суточного эксперимента составил 6,55–10,63 % (таблица 5).

Таблица 4
Изменчивость массы тела (г) белых мышей в ходе испытания хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор»

Точки контроля массы тела	Опытные группы белых мышей			
	I (n = 10)	II (n = 10)	III (n = 10)	IV (n = 10)
Перед экспериментом	18,80 ± 1,17	18,56 ± 1,25	18,42 ± 1,33	18,61 ± 1,29
Через 7 дней	19,43 ± 1,51	19,29 ± 1,36	19,10 ± 1,47	19,19 ± 1,35
Через 14 дней	20,21 ± 1,43	19,99 ± 1,50	19,72 ± 1,54	19,78 ± 1,19

Table 4
Variability of body weight (g) of white mice during the test of chronic toxicity of the drug "Transfer factor"

Body weight control points	Experimental groups of white mice			
	I (n = 10)	II (n = 10)	III (n = 10)	IV (n = 10)
Before the experiment	18.80 ± 1.17	18.56 ± 1.25	18.42 ± 1.33	18.61 ± 1.29
After 7 days	19.43 ± 1.51	19.29 ± 1.36	19.10 ± 1.47	19.19 ± 1.35
After 14 days	20.21 ± 1.43	19.99 ± 1.50	19.72 ± 1.54	19.78 ± 1.19

Таблица 5
Изменчивость массы тела (г) белых крыс в ходе испытания хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор»

Точки контроля массы тела	Опытные группы белых крыс			
	V (n = 10)	VI (n = 10)	VII (n = 10)	VIII (n = 10)
Перед экспериментом	158,00 ± 6,33	150,50 ± 7,24	157,00 ± 10,17	152,50 ± 5,69
Через 7 дней	162,00 ± 7,57	161,00 ± 6,78	163,50 ± 7,53	159,50 ± 6,85
Через 14 дней	173,50 ± 6,71	166,50 ± 9,28	169,00 ± 9,06	162,50 ± 5,23

Table 5
Variability of body weight (g) of white rats during the test of chronic toxicity of the drug "Transfer factor"

Body weight control points	Experimental groups of white rats			
	V (n = 10)	VI (n = 10)	VII (n = 10)	VIII (n = 10)
Before the experiment	158.00 ± 6.33	150.50 ± 7.24	157.00 ± 10.17	152.50 ± 5.69
After 7 days	162.00 ± 7.57	161.00 ± 6.78	163.50 ± 7.53	159.50 ± 6.85
After 14 days	173.50 ± 6.71	166.50 ± 9.28	169.00 ± 9.06	162.50 ± 5.23

Значит, препарат «Трансфер-фактор» и в организме белых крыс не оказал влияния на процессы роста и развития в ходе их постнатального онтогенеза.

При этом положительная динамика массы тела свидетельствовала о сохранении биологического здоровья животных, обеспечивающего также и соответствующее увеличение размеров тела и его органов.

Для проверки данного вывода после окончания эксперимента были выполнены эвтаназия мышей и крыс, их аутопсия, позволившая провести макроскопическую оценку внутренних органов.

Согласно данным [32], оценка морфологии органов/тканей в токсикологических экспериментах позволяет выявить повреждения, вызванные исследуемым препаратом, а также определить их биологическое значение.

При вскрытии трупов лабораторных грызунов не было выявлено видимых изменений в расположении органов, жидкость в брюшной и плевральной полостях отсутствовала.

Однако установлены некоторые патологические изменения цвета, консистенции и размера внутренних органов (таблица 6).

Основываясь на том, что макроскопический анализ позволяет выявить органы-мишени, сопряженные с механизмом действия исследуемого препарата [32], можно заключить, что процесс биотрансформации действующего вещества «Трансфер-фактор» в ходе определения его хронической токсичности сопряжен с функциональной активностью легких, селезенки, печени и сердца.

Данная информация также служит основанием для подбора лечебной и профилактической дозы.

Таблица 6
Результаты аутопсии лабораторных животных [20]

Опытные группы	Данные аутопсии
I группа (белые мыши) V группа (белые крысы)	Легкие не увеличены, серо-розового цвета, частично спавшиеся – от 10 до 40 % от объема органа, присутствуют участки глубокого некроза. Сердце не увеличено, умеренно кровенаполнено, у 10 % животных миокард дряблый. Почки гладкие, бобовидной формы, темно-коричневого цвета. Цвет селезенки у 70 % животных темно-вишневый, орган увеличен в размере, по всей длине имеет выпуклую поверхность и частично бугристую. Край селезенки утолщен и волнистый. Цвет печени темно-вишневый, края органа острые, он не имеет видимых изменений. Цвет кишечника бледно-розовый, гиперемированные участки отсутствуют. Кишечник умеренно наполнен содержимым. Место инъекции – кровоизлияние и отечность в межмышечном пространстве, гематома в подкожной клетчатке
II группа (белые мыши) VI группа (белые крысы)	Цвет легких изменялся от серо-розового до серо-вишневого. Орган имел участки некроза вишневого цвета. Спавшаяся часть легких составляла от 10 до 70 % от объема органа. Размер сердца не увеличен. Орган умеренно кровенаполнен. Почки имеют бобовидную форму и гладкую поверхность, цвет темно-коричневый, видимые изменения органа отсутствуют. Цвет селезенки у 90 % животных темно-вишневый, по всей длине имеет выпуклую поверхность и частично бугристую. Край селезенки утолщен и волнистый. Цвет печени темно-вишневый, края органа острые, на поверхности печени имеются точечные очаги некроза, занимающие до 20 % его площади. Цвет кишечника бледно-розовый, гиперемированные участки отсутствуют. Кишечник умеренно наполнен содержимым. Место инъекции – кровоизлияние и отечность в межмышечном пространстве (обширное – у 20 % животных), гематома в подкожной клетчатке
III группа (белые мыши) VII группа (белые крысы)	Цвет легких изменялся от серо-розового до серо-вишневого. Орган имел спавшиеся участки, которые составляли от 30 до 90 % от объема органа и имели участки некроза саловидной консистенции. Размер сердца не увеличен, орган умеренно кровенаполнен. Дряблая консистенция сердца выявлялась у 50 % животных. Почки имеют бобовидную форму и гладкую поверхность, цвет темно-коричневый, видимые изменения органа отсутствуют. Цвет селезенки у 90 % животных темно-вишневый, по всей длине имеет выпуклую поверхность и частично бугристую. Край селезенки утолщен и волнистый. Цвет печени темно-вишневый, края органа острые, на поверхности печени имеются участки просветлений, занимающие до 40 % его площади. Цвет кишечника бледно-розовый, гиперемированные участки отсутствуют. Кишечник умеренно наполнен содержимым. Место инъекции – незначительные кровоизлияния в тканях брюшной стенки
IV группа (белые мыши) VIII группа (белые крысы)	Цвет легких изменялся от серо-розового до серо-вишневого у 100 % животных. В органе присутствовали выражено спавшиеся и наркотизированные участки вишнево-черного цвета. Размер сердца не увеличен, цвет вишнево-коричневый, консистенция дряблая, орган умеренно кровенаполнен. Форма почек бобовидная, поверхность органа гладкая, цвет темно-коричневый, видимые изменения органа отсутствуют. Цвет селезенки у 100 % животных темно-вишневый, орган увеличен в размере. Орган по всей длине имеет выпуклую поверхность и частично бугристую, с утолщенным волнистым краем, при разрезе края не смыкаются. Печень темно-вишневого цвета с участками просветлений площадью от 40 до 60 %, увеличена, край острый, но на всем протяжении светловишневой окраски. Кишечник бледно-розового цвета, без участков гиперемии, умеренно наполнен содержимым. Место инъекции – незначительные кровоизлияния в тканях брюшной стенки

Experienced groups	Autopsy data
Group I (white mice) Group V (white rats)	The lungs are not enlarged, gray-pink in color, partially collapsed - from 10% to 40% of the organ volume, there are areas of deep necrosis. The heart is not enlarged, moderately filled with blood, and in 10% of animals the myocardium is flabby. The buds are smooth, bean-shaped, dark brown in color. The color of the spleen in 70% of animals is dark cherry, the organ is increased in size, has a convex surface along its entire length and is partially lumpy. The edge of the spleen is thickened and wavy. The color of the liver is dark cherry, the edges of the organ are sharp, it has no visible changes. The color of the intestines is pale pink, there are no hyperemic areas. The intestines are moderately filled with contents. Injection site: hemorrhage and swelling in the intermuscular space, hematoma in the subcutaneous tissue
Group II (white mice) Group VI (white rats)	The color of the lungs changed from gray-pink to gray-cherry. The organ had cherry-colored areas of necrosis. The collapsed part of the lungs ranged from 10 to 70 % of the organ volume. The heart size is not increased. The organ is moderately filled with blood. The kidneys have a bean-shaped shape and a smooth surface, the color is dark brown, there are no visible changes in the organ. The color of the spleen in 90% of animals is dark cherry, has a convex surface along its entire length and is partially lumpy. The edge of the spleen is thickened and wavy. The color of the liver is dark cherry, the edges of the organ are sharp, there are pinpoint foci of necrosis on the surface of the liver, occupying up to 20% of its area. The color of the intestines is pale pink, there are no hyperemic areas. The intestines are moderately filled with contents. The injection site is hemorrhage and swelling in the intermuscular space (extensive - in 20% of animals), hematoma in the subcutaneous tissue
Group III (white mice) Group VII (white rats)	The color of the lungs changed from gray-pink to gray-cherry. The organ had collapsed areas, which ranged from 30 to 90% of the organ volume and had areas of necrosis with a lard-like consistency. The size of the heart is not increased, the organ is moderately filled with blood. Flabby heart consistency was detected in 50% of animals. The kidneys have a bean-shaped shape and a smooth surface, the color is dark brown, there are no visible changes in the organ. The color of the spleen in 90% of animals is dark cherry, has a convex surface along its entire length and is partially lumpy. The edge of the spleen is thickened and wavy. The color of the liver is dark cherry, the edges of the organ are sharp, there are areas of clearing on the surface of the liver, occupying up to 40% of its area. The color of the intestines is pale pink, there are no hyperemic areas. The intestines are moderately filled with contents. The injection site is minor hemorrhages in the tissues of the abdominal wall
Group IV (white mice) Group VIII (white rats)	The color of the lungs changed from gray-pink to gray-cherry in 100% of animals. The organ contained distinctly collapsed and anesthetized areas of a cherry-black color. The size of the heart is not enlarged, the color is cherry-brown, the consistency is flabby, the organ is moderately filled with blood. The shape of the kidneys is bean-shaped, the surface of the organ is smooth, the color is dark brown, there are no visible changes in the organ. The color of the spleen in 100% of animals is dark cherry, the organ is increased in size. The entire length of the organ has a convex surface and is partially lumpy, with a thickened wavy edge; when cut, the edges do not meet. The liver is dark cherry in color with areas of clearing ranging from 40% to 60%, enlarged, the edge is sharp, but light cherry in color throughout. The intestines are pale pink in color, without areas of hyperemia, and are moderately filled with contents. The injection site is minor hemorrhages in the tissues of the abdominal wall

В доклинических исследованиях при оценке токсических эффектов исследуемых препаратов проводится также определение массы внутренних органов и их массовых коэффициентов [33].

При этом под массовым коэффициентом (относительной массой) органа понимают отношение абсолютной массы органа к массе тела животных до вскрытия, выражая результат в процентах.

Динамика изменений массовых коэффициентов органов на фоне введения исследуемого препарата характеризует их объективное состояние, так как оно сопряжено с их метаболическим и функциональным статусом.

Физиологически массовые коэффициенты внутренних органов уменьшаются, что обусловлено планомерным приростом массы тела грызунов в ходе постнатального онтогенеза за счет мышечной и жировой тканей [33].

В условиях эксперимента по определению хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор» были выявлены различия в массовых коэффициентах легких, печени, почек, селезенки в группах мышей и крыс в зависимости от способа его введения (таблица 7).

Максимально их величина изменилась в группах грызунов при внутрибрюшинном способе введения наибольшей суточной дозы «Трансфер-фактора» (у белых мышей – 0,75 мл/гол; у белых крыс – 3,75 мл/гол). В группе мышей (IV группа) наиболее значимые сдвиги в величине массовых коэффициентов органов выявились у почек (5,79 %) и селезенки (10,39 %), в группе крыс (VIII группа) – легких (9,25 %) и селезенки (10,34 %).

Если учесть, что масса тела грызунов в ходе токсикологического эксперимента увеличивалась, то изменения массовых коэффициентов были сопряжены с изменением массы внутренних органов за счет развития в них патологических процессов.

Таблица 7

Массовые коэффициенты внутренних органов белых мышей при оценке хронической токсичности препарата «Трансфер-фактор»

Опытные группы	Масса тела, г	Массовые коэффициенты внутренних органов, %				
		Сердце	Легкое	Печень	Почки	Селезенка
Белые мыши						
I	20,21 ± 1,43	0,46 ± 0,03	0,95 ± 0,04	5,66 ± 0,34	1,33 ± 0,09	0,65 ± 0,05
II	19,99 ± 1,50	0,44 ± 0,02	0,94 ± 0,03	5,67 ± 0,29	1,30 ± 0,11	0,69 ± 0,06
III	19,72 ± 1,54	0,47 ± 0,02	0,96 ± 0,04	5,84 ± 0,37	1,27 ± 0,08	0,75 ± 0,04
IV	19,78 ± 1,19	0,46 ± 0,04	0,99 ± 0,05	5,85 ± 0,19	1,38 ± 0,06	0,77 ± 0,04
Белые крысы						
V	173,50 ± 6,71	0,36 ± 0,02	0,55 ± 0,05	5,22 ± 0,20	0,86 ± 0,02	0,25 ± 0,01
VI	166,50 ± 9,28	0,35 ± 0,01	0,54 ± 0,03	5,31 ± 0,11	0,82 ± 0,07	0,29 ± 0,05
VII	169,00 ± 9,06	0,36 ± 0,02	0,54 ± 0,02	5,54 ± 0,07	0,81 ± 0,02	0,29 ± 0,03
VIII	162,50 ± 5,23	0,37 ± 0,02	0,49 ± 0,03	5,64 ± 0,20	0,87 ± 0,02	0,26 ± 0,02

Table 7

Mass coefficients of internal organs of white mice when assessing the chronic toxicity of the drug "Transfer factor"

Experienced groups	Body mass, g	Mass coefficients of internal organs, %				
		Heart	Lung	Liver	Kidneys	Spleen
White mice						
I	20.21 ± 1.43	0.46 ± 0.03	0.95 ± 0.04	5.66 ± 0.34	1.33 ± 0.09	0.65 ± 0.05
II	19.99 ± 1.50	0.44 ± 0.02	0.94 ± 0.03	5.67 ± 0.29	1.30 ± 0.11	0.69 ± 0.06
III	19.72 ± 1.54	0.47 ± 0.02	0.96 ± 0.04	5.84 ± 0.37	1.27 ± 0.08	0.75 ± 0.04
IV	19.78 ± 1.19	0.46 ± 0.04	0.99 ± 0.05	5.85 ± 0.19	1.38 ± 0.06	0.77 ± 0.04
White rats						
V	173.50 ± 6.71	0.36 ± 0.02	0.55 ± 0.05	5.22 ± 0.20	0.86 ± 0.02	0.25 ± 0.01
VI	166.50 ± 9.28	0.35 ± 0.01	0.54 ± 0.03	5.31 ± 0.11	0.82 ± 0.07	0.29 ± 0.05
VII	169.00 ± 9.06	0.36 ± 0.02	0.54 ± 0.02	5.54 ± 0.07	0.81 ± 0.02	0.29 ± 0.03
VIII	162.50 ± 5.23	0.37 ± 0.02	0.49 ± 0.03	5.64 ± 0.20	0.87 ± 0.02	0.26 ± 0.02

Следовательно, изменения внутренних органов в токсикологическом эксперименте были следствием адаптационно-компенсаторных сдвигов в организме лабораторных животных в ответ на многократно повторяющееся введение препарата «Трансфер-фактор» в высоких дозировках.

Оценка специфической активности препарата «Трансфер-фактор» в реакции бласттрансформации лейкоцитов (РБТЛ). Специфический иммунобиостимулятор предназначен для коррекции функций иммунной системы с целью профилактики цирковирусных заболеваний свиней [16–20].

По данным [34], развитие иммунного ответа в организме животных определяется кооперативным действием лимфоцитов и макрофагов, что влияет на скорость процесса активации, пролиферации и дифференциации иммунокомпетентных клеток.

Поэтому тестируемый специфический иммунобиостимулятор для проявления своих фармакологических свойств должен обладать свойством активации иммунокомпетентных клеток в животном организме.

Для оценки данного действия «Трансфер-фактора» нами выбрана реакция бласттрансформации

лимфоцитов, которая позволяет охарактеризовать пролиферативный ответ лимфоцитов на воздействие соответствующего стимулятора [35; 36].

При анализе результатов реакции бласттрансформации лейкоцитов [26] было установлено, что в контрольном образце крови крыс средний уровень бластов составил 0,20 %, а в опытном – 1,40 % (таблица 8).

Общий вид клеток при проведении реакции бласттрансформации лимфоцитов представлен на рис. 2.

Следовательно, препарат «Трансфер-фактор» способен стимулировать лимфоциты к бластообразованию в организме лабораторных животных, то есть препарат обладает иммунокорректирующими свойствами.

Оценка эмбриотоксических, тератогенных свойств препарата «Трансфер-фактор». Исследование эмбриотоксических и тератогенных свойств новых лекарственных средств является важной частью доклинических испытаний и определяет возможности его «ввода» в клинические исследования [37; 38].

Таблица 8
Результаты реакции бласттрансформации лейкоцитов

№ крысы	Результат РБТЛ (n/%)*	
	Контроль	Опыт
Крыса-контроль (0,9 % р-р NaCl)	0/0	0/0
Крыса 1 (препарат «Трансфер-фактор»)	0/0	3/3
Крыса 2 (препарат «Трансфер-фактор»)	1/1	0/0
Крыса 3 (препарат «Трансфер-фактор»)	0/0	1/1
Крыса 4 (препарат «Трансфер-фактор»)	0/0	3/3
Крыса 5 (препарат «Трансфер-фактор»)	0/0	0/0
∑ по 5 крысам (препарат «Трансфер-фактор»), n = 500 лейкоцитов	0,20	1,40

Примечание. * Референтный показатель в лейкоцитарной формуле лабораторных крыс равен 0–0,55% клеток-бластов (мегакариоцитов) [32].

Table 8
Results of the leukocyte blast transformation reaction

Rat no.	RBTL result (n/%)*	
	Control	Experience
Control rat (0.9 % NaCl solution)	0/0	0/0
Rat 1 ("Transfer factor")	0/0	3/3
Rat 2 ("Transfer factor")	1/1	0/0
Rat 3 ("Transfer factor")	0/0	1/1
Rat 4 ("Transfer factor")	0/0	3/3
Rat 5 ("Transfer factor")	0/0	0/0
∑ 5 rats each ("Transfer factor"), n = 500 leukocytes	0.20	1.40

Note. * The reference value in the leukocyte formula of laboratory rats is 0–0.55 % blast cells (megakaryocytes) [32].

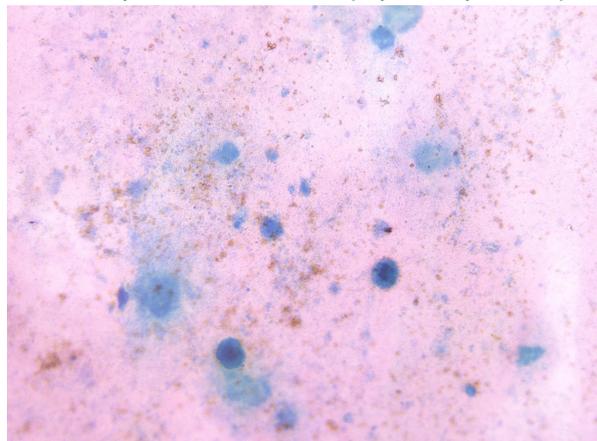


Рис. 2. Общий вид клеток при реакции бласттрансформации лейкоцитов

Fig. 2. General view of cells during the blast transformation reaction of leukocytes

Данные свойства препаратов сопряжены с их способностью мигрировать через плацентарный барьер и влиять на процессы гомеостаза у плода. Поэтому отсутствие анатомических и физиологических аномалий у плодов свидетельствует о том, что тестируемый препарат не обладает эмбриотоксическими и тератогенными свойствами [39].

При доклинических испытаниях препарата «Трансфер-фактор» данные свойства изучали на беременных крысах.

Ежедневный осмотр беременных крыс опытных групп гол (I и III группы) показал, что их физиологическое состояние существенно не отличается от контроля. Сопоставимо изменяется масса тела животных в ходе беременности (таблица 9).

Сравнение самок опытных и контрольных групп по показателям плодовитости тоже не позволило установить статистически значимые различия.

К аналогичным выводам пришли и при сопоставлении результатов исследований, отражающих изменчивость макроскопического состояния плодов у опытных и контрольных крыс.

Так, их внешний вид, средний вес, краниокаудальный размер статистически значимо не различались в опытной и контрольной группах.

О влиянии препарата «Трансфер-фактор» на организм беременных крыс судили по макроскопическому состоянию органов репродуктивной системы (матки, яичников), которые были извлечены из их организма в процессе аутопсии.

При характеристике эмбриотоксического действия препарата, оцениваемого по количеству желтых тел в яичниках, и мест имплантации плодов в матке [40], числу резорбций, живых и мертвых плодов животные опытных и контрольных групп статистически значимо не различались. Аналогичные данные получены и при сравнении пред- и постимплантационной гибели эмбрионов.

Все показатели в группах опыта и контроля соответствовали стадии беременности крыс, то есть находились в пределах физиологических колебаний. Сравнение плодов по величине зоометрических параметров тоже не позволило выявить достоверные изменения в опытной и контрольной группах (таблица 9).

Таблица 9

Показатели беременности крыс и эмбриогенеза крысят при применении препарата «Трансфер-фактор»

Показатели	Опытные группы беременных крыс			
	I опытная группа	II группа (контрольная)	III опытная группа	IV группа (контрольная)
Масса тела (г) крыс: – до опыта – на 20-е сутки беременности	160,24 ± 9,57 275,81 ± 13,48	159,38 ± 8,13 276,13 ± 10,22	156,79 ± 7,29 269,07 ± 9,51	158,56 ± 8,46 272,12 ± 11,23
Количество желтых тел*, шт.	14,06 ± 0,53	13,78 ± 0,39	11,89 ± 0,40	12,28 ± 0,41
Общее количество плодов*, шт.	12,85 ± 0,29	12,47 ± 0,18	11,72 ± 0,32	10,57 ± 0,37
Количество живых плодов*, шт.	12,85 ± 0,29	12,47 ± 0,18	11,72 ± 0,32	10,57 ± 0,37
Количество мертвых плодов*, шт.	0,00	0,00	0,00	0,00
Резорбировано плодов*, шт.	0,17 ± 0,17	0,00	0,00	0,83 ± 0,54
Средний вес плода, г	4,15 ± 0,04	4,12 ± 0,03	4,31 ± 0,03	4,27 ± 0,03
Краниокаудальный размер плода, мм	37,42 ± 0,94	37,48 ± 0,89	37,87 ± 1,12	38,12 ± 1,07
Количество эмбрионов самок, шт.	6,69 ± 0,34	6,70 ± 0,30	6,33 ± 0,29	5,68 ± 0,21
Количество эмбрионов самцов, шт.	6,16 ± 0,28	5,77 ± 0,23	5,39 ± 0,18	4,89 ± 0,25

Примечание. * Показатели приводятся из расчета на 1 самку.

Table 9

Indicators of rat pregnancy and embryogenesis of rat pups when using the drug "Transfer factor"

Indicators	Experimental groups of pregnant rats			
	Group I (experimental)	Group II (control)	Group III (experimental)	Group IV (control)
Body weight (g) of rats: – before experience – on the 20th day of pregnancy	160.24 ± 9.57 275.81 ± 13.48	159.38 ± 8.13 276.13 ± 10.22	156.79 ± 7.29 269.07 ± 9.51	158.56 ± 8.46 272.12 ± 11.23
Number of corpora lutea*, pcs.	14.06 ± 0.53	13.78 ± 0.39	11.89 ± 0.40	12.28 ± 0.41
Total number of fruits*, pcs.	12.85 ± 0.29	12.47 ± 0.18	11.72 ± 0.32	10.57 ± 0.37
Number of live fruits*, pcs.	12.85 ± 0.29	12.47 ± 0.18	11.72 ± 0.32	10.57 ± 0.37
Number of dead fruits*, pcs.	0.00	0.00	0.00	0.00
Fruits resorbed*, pcs.	0.17 ± 0.17	0.00	0.00	0.83 ± 0.54
Average fruit weight, g	4.15 ± 0.04	4.12 ± 0.03	4.31 ± 0.03	4.27 ± 0.03
Cranio-caudal size of the fetus, mm	37.42 ± 0.94	37.48 ± 0.89	37.87 ± 1.12	38.12 ± 1.07
Number of female embryos, pcs.	6.69 ± 0.34	6.70 ± 0.30	6.33 ± 0.29	5.68 ± 0.21
Number of male embryos, pcs.	6.16 ± 0.28	5.77 ± 0.23	5.39 ± 0.18	4.89 ± 0.25

Note. * Indicators are based on 1 female.

Метод Вильсона, используемый нами при обследовании плодов, не выявил аномалий в развитии их внутренних органов. Так, у плодов из групп опыта и групп контроля основные анатомические системы формировались однотипно, без особенностей (рис. 3).

Для макроанатомических обзорных исследований скелета плодов нами использован метод Дуосона.

Анализ полученных данных показал, что в опыте и контроле отсутствуют аномалии в развитии костей скелета плодов (рис. 4).

Так, кости черепа, позвоночника, конечностей, ребра и т. д. были развиты пропорционально.

К аналогичным выводам пришли и при оценке процесса окостенения трубчатых костей конечностей плодов в опыте и контроле, а также при их сравнении по количеству ребер, центров окостенения в метатарзальных и метакарпальных костях скелета (таблица 10).

Таким образом, ежедневное подкожное введение препарата «Трансфер-фактор» в дозах 2,5 мл/гол и 3,75 мл/гол в период беременности не влияет на плодовитость крыс, пред- и постимплантационную гибель эмбрионов, а также не вызывает развития аномалий скелета и внутренних органов, то есть препарат «Трансфер-фактор» не обладает эмбриотоксическими и тератогенными свойствами.

Оценка аллергизирующих свойств препарата «Трансфер-фактор». Программа доклинических исследований включает оценку аллергизирующих свойств разрабатываемых препаратов в модели лабораторных животных [41; 42], так как лекарственная аллергия – это одна из значимых проблем современности [43].

Для этих целей нами были изучены:

А. Реакция общей анафилаксии – проведена с использованием морских свинок и предусматривала использование внутрисердечной инъекции физиологического раствора (контроль) и препарата «Трансфер-фактор» (опыт) в дозах 0,3 и 3,0 мл/кг.



a)



b)



c)

Рис. 3. Состояние внутренних органов плодов, оцененное по методике Вильсона: а) плоды от самок крыс IV группы (контрольной); б) плоды от самок I опытной группы; в) плоды от самок III опытной группы

Fig. 3. The condition of the internal organs of the fetuses, assessed using the Wilson method: a) fetuses from female rats of group IV (control); b) fetuses from females of experimental group I; c) fetuses from females of experimental group III

При наблюдении за морскими свинками контрольной группы после инъекций не было выявлено отклонений в их поведении и физиологическом состоянии.

В то же время внутрисердечная инъекция препарата «Трансфер-фактор» в дозировке 0,3 мл/кг инициировала у животных учащение пульса и дыхания, проходящее через 2–3 минуты. Все морские свинки остались живы.

После внутрисердечной инъекции морским свинкам препарата «Трансфер-фактор» в дозировке 3,0 мл/кг в течение 10–20 минут отмечали редкое



a)



b)



c)

Рис. 4. Обзорное исследование скелета плодов по методу Даусона: а) плоды от самок крыс IV группы (контрольной); б) плоды от самок I опытной группы; в) плоды от самок III опытной группы

Fig. 4. Survey study of the fetal skeleton using the Dawson method: a) fetuses from female rats of group IV (control); b) fetuses from females of experimental group I; c) fetuses from females of experimental group III

подергивание, слабый тремор, ступор-оцепенение, учащение дыхания и пульса. Через 20 минут частота дыхания и пульса восстановились до значений, близких к нормативным. Все животные остались живы.

Таблица 10

Макроскопическая оценка эмбрионов крыс

Показатели	Маркировка опытных групп			
	I группа (опытная)	II группа (контрольная)	III группа (опытная)	IV группа (контрольная)
Количество исследованных эмбрионов, шт.	30	30	30	30
Число центров оссификации грудины, шт.	5,83 ± 0,44	5,86 ± 0,29	5,78 ± 0,36	5,96 ± 0,39
Количество метатарзальных костей				
Справа, шт.	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00
Слева, шт.	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00
Количество метакарпальных костей				
Справа, шт.	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00
Слева, шт.	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00	4,00 ± 0,00
Количество ребер				
Справа, шт.	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00
Слева, шт.	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00	13,00 ± 0,00

Table 10

Macroscopic evaluation of rat embryos

Indicators	Labeling of experimental groups			
	Group I (experimental)	Group II (control)	Group III (experimental)	Group IV (control)
Number of embryos studied, pcs.	30	30	30	30
Number of ossification centers sternum, pcs.	5.83 ± 0.44	5.86 ± 0.29	5.78 ± 0.36	5.96 ± 0.39
Number of metatarsal bones				
Case, pcs.	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
Left, pcs.	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
Number of metacarpal bones				
Case, pcs.	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
Left, pcs.	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
Number of edges				
Case, pcs.	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00
Left, pcs.	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00	13.00 ± 0.00

Таблица 11

Результаты измерения толщины кожной складки морских свинок после внутрикожной инъекции препарата «Трансфер-фактор»

Учет реакции	Предварительная сенсibilизация			
	0,1 мл/кг		1,0 мл/кг	
	Справа («Трансфер-фактор»), мм	Слева (NaCl 0,9 %), мм	Справа («Трансфер-фактор»), мм	Слева (NaCl 0,9 %), мм
Через 30 минут	7,06 ± 0,34	6,95 ± 0,19	7,37 ± 0,28	7,14 ± 0,22
Через 2 часа	4,15 ± 0,17	3,19 ± 0,31	5,48 ± 0,42	3,05 ± 0,27
Через 3 часа	2,97 ± 0,18	2,11 ± 0,11	4,24 ± 0,29	2,23 ± 0,14

Table 11

Results of measuring the thickness of the skin fold of guinea pigs after intradermal injection of the drug "Transfer factor"

Accounting for reaction	Pre-sensitization			
	0.1 ml/kg		1.0 ml/kg	
	Case ("Transfer factor"), mm	Left (NaCl 0.9 %), mm	Case ("Transfer factor"), mm	Left (NaCl 0.9 %), mm
In 30 minutes	7.06 ± 0.34	6.95 ± 0.19	7.37 ± 0.28	7.14 ± 0.22
In 2 hours	4.15 ± 0.17	3.19 ± 0.31	5.48 ± 0.42	3.05 ± 0.27
In 3 hours	2.97 ± 0.18	2.11 ± 0.11	4.24 ± 0.29	2.23 ± 0.14

Б. Реакция иммунных комплексов. Результаты измерения толщины кожной складки после внутрикожной инъекции препарата «Трансфер-фактор» и физиологического раствора натрия хлорида в количестве 0,05 мл предварительно сенсибилизированным морским свинкам представлены в таблице 11.

В течение всего периода наблюдений морские свинки были активны. Их физиологические и пищевые реакции соответствовали таковым у здоровых животных. При этом на коже не установлено наличие расчесов, трещин, изъязвлений и струпов.

В местах подкожной инъекции препарата «Трансфер-фактор» отмечали безболезненную припухлость, которая по толщине кожной складки превосходила место введения физиологического раствора натрия хлорида.

В. Конъюнктивальный тест, предусматривающий введение предварительно сенсибилизированным морским свинкам под верхнее веко глаз препарата «Трансфер-фактор» и плацебо (физиологический раствор), показал, что через 15 минут после его инициации не развиваются покраснение слезного протока и внутренней стороны века, а также отечность. Животные активны, глаза не прикрывают, слезотечение отсутствует.

Через 24 и 48 часов после постановки конъюнктивального теста видимых различий в состоянии слизистых оболочек правых и левых глаз морских свинок не установлено, покраснения склеры и слезного протока не выявлено.

Следовательно, препарат «Трансфер-фактор» не обладает аллергизирующими свойствами.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, результаты оценки токсикологической безопасности специфического иммунобиостимулятора «Трансфер-фактор» в моделях лабораторных животных показывают, что тестируемый препарат обладает следующими характеристиками.

Препарат в экспериментах по изучению его хронической токсичности инициирует развитие тремора мышц в организме грызунов, продолжительность которого зависит от вводимой дозы (от 15–20 до 40 минут), способа введения и времени экспозиции.

При этом масса тела белых мышей и белых крыс увеличивается на 6,29–7,70 и 6,55–10,63 % соответственно, свидетельствуя о том, что препарат не влияет на пищевое поведение животных и процесс усвоения компонентов корма. Аутопсия животных опытных групп в конце эксперимента показывает, что видимые изменения в расположении органов

отсутствуют, жидкость в брюшной и плевральной полостях не скапливается.

Однако установлены некоторые патологические изменения цвета, консистенции и размера таких внутренних органов, как легкие, селезенка, печень и сердце, которые можно отнести к органам-мишеням препарата в условиях использования.

Поэтому изменяются массовые коэффициенты данных органов и у мышей, и у крыс в сопряженности с увеличением дозы вводимого препарата «Трансфер-фактор» и способом введения до 10,39 %.

Препарат «Трансфер-фактор» в реакции бласттрансформации лимфоцитов (РБТЛ) увеличивает количество бластов с 0,20 до 1,40 %, что свидетельствует о его иммуностимулирующей способности.

Тестируемый препарат не влияет на репродуктивные органы (матка, яичники) беременных крыс, а также не проявляет отрицательного эмбриотоксического и тератогенного эффекта в их организме, о чем свидетельствует сопоставимость данных в опыте и контроле по приросту массы тела животных в ходе беременности, количеству желтых тел в яичниках и мест имплантации плодов матке, числу резорбций, живых и мертвых плодов, пред- и постимплантационной гибели эмбрионов, величине зоометрических параметров плодов, а также отсутствие аномалий в развитии внутренних органов и скелета плодов.

При исследовании аллергизирующих свойств препарата «Трансфер-фактор» выявлено, что он не вызывает в организме морских свинок анафилактического шока, а также не раздражает кожу в реакции иммунных комплексов и конъюнктиву глаза в конъюнктивальном тесте.

Совокупность полученных данных позволяет констатировать, что препарат «Трансфер-фактор» в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» относится к IV классу опасности «Вещества малоопасные».

Поэтому препарат «Трансфер-фактор» может быть рекомендован для дальнейших клинических испытаний, в которых не будет использована дозировка, превышающая 6 мл/кг живой массы. При введении препарата в данных концентрациях в организме лабораторных животных развивается комплекс изменений во внутренних органах, которые из компенсаторных и приспособительных реакций могут перейти в патологические.

Библиографический список

1. Brai A., Poggialini F., Vagaggini C., Pasqualini C., Simoni S., Francardi V., Dreassi E. Tenebrio molitor as a Simple and Cheap Preclinical Pharmacokinetic and Toxicity Model. // International Journal of Molecular Sciences. 2023. No. 24 (3). Article number 2296. DOI: 10.3390/ijms24032296.
2. Гуськова Т. А. Доклиническое токсикологическое изучение лекарственных средств как гарантия безопасности проведения их клинических исследований // Токсикологический вестник. 2010. № 5 (104). С. 2–5.

3. Martignoni M., Groothuis G. M., de Kanter R. Species differences between mouse, rat, dog, monkey and human CYP-mediated drug metabolism, inhibition and induction // *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*. 2006. No. 2 (6). Pp. 875–894. DOI: 10.1517/17425255.2.6.875.
4. Федеральный закон РФ «Об обращении лекарственных средств» № 61 от 12.04.2010 (ред. от 30.01.2024). Статья 4. Основные понятия, используемые в настоящем Федеральном законе [Электронный ресурс]. URL: <https://sudact.ru/law/federalnyi-zakon-ot-12042010-n-61-fz-ob-glava-1/statia-4/> (дата обращения: 27.06.2024).
5. Yamagata Y., Yamada H., Horii I. Current status and future perspective of computational toxicology in drug safety assessment under ontological intellection // *The Journal of Toxicological Sciences*. 2019. No. 44 (11). Pp. 721–735. DOI: 10.2131/jts.44.721.
6. Liodice S., Nogueira da Costa A., Atienzar F. Current trends in silico, in vitro toxicology, and safety biomarkers in early drug development // *Drug and Chemical Toxicology*. 2019. No. 42 (2). Pp. 113–121. DOI: 10.1080/01480545.2017.1400044.
7. Васильев А. Н. Качественные доклинические исследования – необходимый этап разработки и внедрения в клиническую практику новых лекарственных препаратов // *Антибиотики и химиотерапия*. 2012. № 57 (1-2). С. 41–49.
8. Horii I. The principle of safety evaluation in medicinal drug – how can toxicology contribute to drug discovery and development as a multidisciplinary science? // *The Journal of Toxicological Sciences*. 2016. No. 41 (Special). Pp. SP49–SP67. DOI: 10.2131/jts.41.SP49.
9. Yamagata Y., Yamada H. Ontological approach to the knowledge systematization of a toxic process and toxic course representation framework for early drug risk management. // *Scientific Reports*. 2020. No. 10 (1). Article number 14581. DOI: 10.1038/s41598-020-71370-7.
10. Ankley G. T., Edwards S. W. The Adverse Outcome Pathway: A Multifaceted Framework Supporting 21st Century Toxicology // *Current Opinion in Toxicology*. 2018. No. 9. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.cotox.2018.03.004.
11. Draskau M. K., Spiller C. M., Boberg J., Bowles J., Svingen T. Developmental biology meets toxicology: contributing reproductive mechanisms to build adverse outcome pathways. // *Molecular Human Reproduction*. 2020. No. 26 (2). Pp. 111–116. DOI: 10.1093/molehr/gaaa001.
12. Гуськова Т. А. Лекарственная токсикология и безопасность лекарственных средств // *Токсикологический вестник*. 2014. № 2 (125). С. 2–5.
13. Западнюк И. П., Западнюк В. И., Захария Е. А., Западнюк Б. В. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте: учебное пособие / 3-е изд., перераб. и доп. Киев: Вища школа, 1983. 383 с.
14. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Под общей редакцией члена-корреспондента РАМН, профессора Р. У. Хабриева. 2-изд., перераб. и доп. Москва: ОАО «Издательство „Медицина“», 2005. 832 с.
15. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под общей редакцией А. Н. Миронова. Ч. 1. Москва: Гриф и К, 2012. 944 с.
16. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербаков П. Н., Дерхо А. О., Степанова К. В. Иммунологический статус свиноматок в ходе репродуктивного цикла и коррекция его состояния биостимулятором антигенаправленного действия // *Аграрная наука*. 2023. № 12. С. 58–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66.
17. Burkov P. V., Shcherbakov P. N., Derkho M. A., Rebezov M. B., Stepanova K. V., Derkho A. O., Ansoni A. N. M. Pathological features of the lungs and liver of piglets under conditions of constant vaccination of livestock against circovirus infection // *Theory and Practice of Meat Processing*. 2023. No. 1. Pp. 4–11. DOI: 10.21323/2414-438X-2023-378-1-4-11.
18. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербаков П. Н. Цирковироз как фактор контролирующей беременность // *Аграрная наука*. 2023. № 8. С. 27–35. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35.
19. Бурков П. В., Ребезов М. Б., Дерхо М. А., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Иммунометаболические особенности формирования поствакцинального иммунитета против ЦВС-2 у свиноматок // *Аграрная наука*. 2024. № 7. С. 38–48. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-38-48.
20. Бурков П. В., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Щербаков П. Н., Дерхо А. О. Экспериментальное исследование острой токсичности внутримышечной формы специфического иммунобиостимулятора – трансферфактора. // *Аграрная наука*. 2024. № 9. С. 40–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-40-47.
21. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 № 199н «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=278397> (дата обращения: 07.06.2024).

22. ГОСТ 33216-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62388> (дата обращения: 03.05.2024).
23. ГОСТ 33215-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/61242/> (дата обращения: 03.05.2024).
24. ГОСТ 34566-2019 Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия. [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/71578> (дата обращения: 03.05.2024).
25. ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/8951> (дата обращения: 28.05.2024).
26. Манина И. В., Сергеев В. Ю., Голубцова Н. В., Сергеев А. Ю. Модификация реакции бласттрансформации лимфоцитов для применения в аллергологической практике // Российский биотерапевтический журнал. 2018. Т. 17, № 2. С. 88–92. DOI: 10.17650/1726-9784-2018-17-2-88-92
27. Andrade E. L., Bento A. F., Cavalli J., Oliveira S. K., Schwanke R. C., Siqueira J. M., Freitas C. S., Marcon R., Calixto J. B. Non-clinical studies in the process of new drug development - Part II: Good laboratory practice, metabolism, pharmacokinetics, safety and dose translation to clinical studies. // Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2016. № 49 (12). Pp. e5646. DOI: 10.1590/1414-431X20165646.
28. Остроумова Т. М., Толмачева В. А. Остроумова О. Д. Лекарственно-индуцированный тремор // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2022. № 14 (2). С. 4–10. DOI: 10.14412/2074-2711-2022-2-4-10
29. Morgan J. C., Kurek J. A., Davis J. L., Sethi K. D. Insights into Pathophysiology from Medication-induced Tremor // Tremor Other Hyperkinet Mov (N. Y.). 2017. No. 7. Article number 442. DOI: 10.7916/D8FJ2V9Q.
30. Выборная К. В., Соколов А. И., Кобелькова И. В., Лавриненко С. В., Клочкова С. В., Никитюк Д. Б. Основной обмен как интегральный количественный показатель интенсивности метаболизма // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С. 5–10. DOI: 10.24411/0042-8833-2017-00069.
31. Gifford C. A., Holland B. P., Mills R. L., Maxwell C. L., Farney J. K., Terrill S. J., Step D. L., Richards C. J., Burciaga Robles L. O., Krehbiel C. R. Growth and Development Symposium: Impacts of inflammation on cattle growth and carcass merit. // Journal of Animal Science. 2012. No. 90 (5). Pp. 1438–1451. DOI: 10.2527/jas.2011-4846.
32. Сорокина А. В., Алексеева С. В., Еремина Н. В., Дурнев А. Д. Опыт проведения клинко-лабораторных исследований в доклинической оценке безопасности лекарств (часть 2: биохимические и патоморфологические исследования) // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2019. № 9 (4). С. 272–279. DOI: 10.30895/1991-2919-2019-9-4-272-279.
33. Луговик И. А., Макарова М. Н. Токсикологические исследования. Референтные интервалы массовых коэффициентов внутренних органов на выборке, состоящей из 1000 аутбредных крыс // Лабораторные животные для научных исследований. 2021. № 1. DOI: 10.29296/2618723X-2021-01-01.
34. Юшков Б. Г., Климин В. Г., Северин М. В. Система крови и экстремальные воздействия на организм / Екатеринбург: УРО РАН, 1999. 199 с.
35. Iliina T., Kashpur N., Granica S., Bazytko A., Shinkovenko I., Kovalyova A., Goryacha O., Koshovyi O. Phytochemical Profiles and In Vitro Immunomodulatory Activity of Ethanolic Extracts from *Galium aparine* L. // Plants (Basel). 2019. № 8 (12). Article number 541. DOI: 10.3390/plants8120541.
36. Булычева Т. И., Дейнеко Н. Л., Григорьев А. А. Иммунохимическая оценка стимуляции лимфоцитов фитогемагглютинином реакции бласттрансформации лимфоцитов с моноклональными антителами КИ-67 // Клиническая лабораторная диагностика. 2014. № 7. С. 51–54.
37. Pletnev V. V. Study of embryotoxic and teratogenic properties of Medicine No. 60 and evaluation of its effect on the reproductive function of rats. // Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology. 2022. No. 29 (1). Pp. e40–e49. DOI: 10.47750/jptcp.2022.885.
38. Dong Z., Tang S. S., Ma X. L., Tan B., Tang Z. S., Li C. H., Yang Z. H., Zeng J. G. Acute, chronic, and genotoxic studies on the protopine total alkaloids of the *Macleaya cordata* (willd.) R. Br. in rodents. // Front Pharmacology. 2022. № 13. Pp. 987800. DOI: 10.3389/fphar.2022.987800.
39. Seegmiller R. E., Cook N., Goodwin K., Leishman T., Graf M. Assessment of Gross Fetal Malformations: The Modernized Wilson Technique and Skeletal Staining. // Methods in Molecular Biology. 2019; № 1965. Pp. 421–434. DOI: 10.1007/978-1-4939-9182-2_27.
40. Бородина А. Ю., Крышень К. Л., Савченко А. Ю., Макарова М. Н., Макаров В. Г. Изучение эмбриотоксического, фетотоксического и тератогенного действия нового противотуберкулезного препарата тиозонид у беременных кроликов // Безопасность и риск фармакотерапии. 2023. Т. 11, № 2. С. 191–204. DOI: 10.30895/2312-7821-2023-11-2-191-204.

41. Крышень К. Л., Кательникова А. Е., Мужикян А. А., Макарова М. Н., Макаров В.Г. Регуляторные и методические аспекты изучения алергизирующих свойств новых лекарственных средств на этапе доклинических исследований // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2018. № 8 (1). С. 44–55. DOI: 10.30895/1991-2919-2018-8-1-44-55.

42. Ампилогова И. Н., Карлина М. В., Макаров В. Г., Макарова М. Н. Взаимосвязь фармацевтической разработки и доклинических исследований (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. Т. 12. № 2. С. 155–163. DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-2-155-163.

43. Гущин И. С. Сомнения и надежды в учении об аллергии. // Иммунология. 2023. Т. 44, № 4. С. 471–480. DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-4-471-480.

Об авторах:

Павел Валерьевич Бурков, кандидат ветеринарных наук, руководитель научно-исследовательского центра биотехнологии репродукции животных, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 6276. E-mail: burcovpavel@mail.ru

Павел Николаевич Щербakov, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры инфекционных болезней и ветеринарно-санитарной экспертизы, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0001-8685-4645, AuthorID 677525. E-mail: scherbakov_pavel@mail.ru

Марина Аркадьевна Дерхо, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613. E-mail: derkho2010@yandex.ru

Максим Борисович Ребезов, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия; профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. E-mail: rebezov@ya.ru

Арина Олеговна Дерхо, аспирант, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0002-1914-8721, AuthorID 1092200. E-mail: arina_avrora@mail.ru

References

1. Brai A., Poggialini F., Vagaggini C., Pasqualini C., Simoni S., Francardi V., Dreassi E. Tenebrio molitor as a Simple and Cheap Preclinical Pharmacokinetic and Toxicity Model. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24 (3): 2296. DOI: 10.3390/ijms24032296.

2. Guskova T. A. Preclinical toxicological study of drugs as a guarantee of safety of their clinical trials. *Toxicological Bulletin*. 2010; 5 (104): 2–5. (In Russ.)

3. Martignoni M., Groothuis G. M., de Kanter R. Species differences between mouse, rat, dog, monkey and human CYP-mediated drug metabolism, inhibition and induction. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*. 2006; 2 (6): 875–894. DOI: 10.1517/17425255.2.6.875.

4. Federal Law of the Russian Federation “On Circulation of Medicines” No. 61 of 12.04.2010 (as amended on 30.01.2024). Article 4. Basic concepts used in this Federal Law [Internet] [cited 2024 Jun 17]. URL: <https://sudac.ru/law/federalnyi-zakon-ot-12042010-n-61-fz-ob-glava-1/statia-4>. (In Russ.)

5. Yamagata Y., Yamada H., Horii I. Current status and future perspective of computational toxicology in drug safety assessment under ontological intellection. *The Journal of Toxicological Sciences*. 2019; 44 (11): 721–735. DOI: 10.2131/jts.44.721.

6. Loiodice S., Nogueira da Costa A., Atienzar F. Current trends in in silico, in vitro toxicology, and safety biomarkers in early drug development. *Drug and Chemical Toxicology*. 2019; 42 (2): 113–121. DOI: 10.1080/01480545.2017.1400044.

7. Vasilyev A. N. High-quality preclinical studies are a necessary stage in the development and introduction of new drugs into clinical practice. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2012; 57 (1-2): 41–49. (In Russ.)

8. Horii I. The principle of safety evaluation in medicinal drug – how can toxicology contribute to drug discovery and development as a multidisciplinary science? *The Journal of Toxicological Sciences*. 2016; 41: SP49–SP67. DOI: 10.2131/jts.41.SP49.

9. Yamagata Y., Yamada H. Ontological approach to the knowledge systematization of a toxic process and toxic course representation framework for early drug risk management. *Scientific Reports*. 2020; 10 (1): 14581. DOI: 10.1038/s41598-020-71370-7.

10. Ankley G. T., Edwards S. W. The Adverse Outcome Pathway: A Multifaceted Framework Supporting 21st Century Toxicology. *Current Opinion in Toxicology*. 2018; 9: 1–7. DOI: 10.1016/j.cotox.2018.03.004.

11. Draskau M. K., Spiller C. M., Boberg J., Bowles J., Svingen T. Developmental biology meets toxicology: contributing reproductive mechanisms to build adverse outcome pathways. *Molecular Human Reproduction*. 2020; 26 (2): 111–116. DOI: 10.1093/molehr/gaaa001.
12. Guskova T. A. Drug toxicology and drug safety. *Toxicological Bulletin*. 2014; 2 (125): 2–5. (In Russ.)
13. Zapadnyuk I. P., Zapadnyuk V. I., Zakharia E. A., Zapadnyuk B. V. *Laboratory Animals. Breeding, Maintenance, Use in Experiments: a textbook*. 3rd ed., revised. and enlarged. Kiev: *Vishcha shkola*, 1983. 383 p. (In Russ.)
14. *Guide to Experimental (Preclinical) Study of New Pharmacological Substances*. Under the general editorship of corresponding member of the Russian Academy of Medical Sciences, professor R. U. Khabriev. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow: Publishing house “Medicine” JSC. 2005. 832 p. (In Russ.)
15. *Guide to Conducting Preclinical Studies of Drugs*. Under the general editorship of A.N. Mironov. Part 1. Moscow: Grif i K. 2012. 944 p. (In Russ.)
16. Burkov P. V., Derkho M. A., Rebezov M. B., Shcherbakov P. N., Derkho A. O., Stepanova K. V. Immunological status of sows during the reproductive cycle and correction of its condition with an antigen-directed biosimulator. *Agrarian Science*. 2023; 12: 58–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-58-66. (In Russ.)
17. Burkov P. V., Shcherbakov P. N., Derkho M. A., Rebezov M. B., Stepanova K. V., Derkho A. O., Ansoni A. N. M. Pathological features of the lungs and liver of piglets under conditions of constant vaccination of livestock against circovirus infection. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2023; 8 (1): 4–11. DOI: 10.21323/2414-438X-2023-8-1-4-11.
18. Burkov P. V., Derkho M. A., Rebezov M. B., Shcherbakov P. N. Circovirus as a factor controlling the effectiveness of pregnancy in sows. *Agrarian Science*. 2023; 8: 27–35. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-27-35. (In Russ.)
19. Burkov P. V., Rebezov M. B., Derkho M. A., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Immunometabolic features of the formation of post-vaccination immunity against porcine circovirus type 2 in sows. *Agrarian Science*. 2024; 7: 38–48. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-384-7-38-48. (In Russ.)
20. Burkov P. V., Derkho M. A., Rebezov M. B., Shcherbakov P. N., Derkho A. O. Experimental study of acute toxicity of the intramuscular form of a specific immunobiostimulator – transfer factor. *Agrarian Science*. 2024; 9: 40–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-386-9-40-47. (In Russ.)
21. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 01.04.2016 No. 199n “On approval of the Rules of Good Laboratory Practice” [Internet] [cited 2024 Jun 07]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=278397>. (In Russ.)
22. GOST 33216-2014. Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for the maintenance and care of laboratory rodents and rabbits [Internet] [cited 2024 May 03]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62388>. (In Russ.)
23. GOST 33215-2014. Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for equipping premises and organizing procedures [Internet] [cited 2024 May 03]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/61242>. (In Russ.)
24. GOST 34566-2019. Complete compound feed for laboratory animals. Technical conditions. [Internet] [cited 2024 May 03]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/71578>. (In Russ.)
25. GOST R 51232-98. Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control [Internet] [cited 2024 May 28]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/8951>. (In Russ.)
26. Manina I. V., Sergeev V. Yu., Golubtsova N. V., Sergeev A. Yu. Modification of the lymphocyte blast transformation reaction for use in allergological practice. *Russian Biotherapeutic Journal*. 2018; 17 (2): 88–92. DOI: 10.17650/1726-9784-2018-17-2-88-92. (In Russ.)
27. Andrade E. L., Bento A. F., Cavalli J., Oliveira S. K., Schwanke R. C., Siqueira J. M., Freitas C. S., Marcon R., Calixto J. B. Non-clinical studies in the process of new drug development - Part II: Good laboratory practice, metabolism, pharmacokinetics, safety and dose translation to clinical studies. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2016; 49 (12): e5646. DOI: 10.1590/1414-431X20165646.
28. Ostroumova T. M., Tolmacheva V. A., Ostroumova O. D. Drug-induced tremor. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2022; 14 (2): 4–10. DOI: 10.14412/2074-2711-2022-2-4-10. (In Russ.)
29. Morgan J. C., Kurek J. A., Davis J. L., Sethi K. D. Insights into Pathophysiology from Medication-induced Tremor. *Tremor Other Hyperkinet Mov (N. Y.)*. 2017; 7: 442. DOI: 10.7916/D8FJ2V9Q.
30. Vybornaya K. V., Sokolov A. I., Kobelkova I. V., Lavrinenko S. V., Klochkova S. V., Nikityuk D. B. Basal metabolism as an integral quantitative indicator of metabolic intensity. *Nutrition Issues*. 2017; 86 (5): 5–10. DOI: 10.24411/0042-8833-2017-00069. (In Russ.)
31. Gifford C. A., Holland B. P., Mills R. L., Maxwell C. L., Farney J. K., Terrill S. J., Step D. L., Richards C. J., Burciaga Robles L. O., Krehbiel C. R. Growth and Development Symposium: Impacts of inflam-

mation on cattle growth and carcass merit. *Journal of Animal Science*. 2012; 90 (5): 1438–1451. DOI: 10.2527/jas.2011-4846.

32. Sorokina A. V., Alekseeva S. V., Eremina N. V., Durnev A. D. Experience in conducting clinical and laboratory studies in preclinical assessment of drug safety (part 2: biochemical and pathomorphological studies). *Bulletin of the Scientific Center for Expertise of Medical Products*. 2019; 9 (4): 272–279. DOI: 10.30895/1991-2919-2019-9-4-272-279. (In Russ.)

33. Lugovik I. A., Makarova M. N. Toxicological studies. Reference intervals of mass coefficients of internal organs in a sample consisting of 1000 outbred rats. *Laboratory Animals for Scientific Research*. 2021; 1. DOI: 10.29296/2618723X-2021-01-01. (In Russ.)

34. Yushkov B. G., Klimin V. G., Severin M. V. *Blood System and Extreme Effects on the Body*. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1999. 199 p. (In Russ.)

35. Ilina T., Kashpur N., Granica S., Bazylko A., Shinkovenko I., Kovalyova A., Goryacha O., Koshovyi O. Phytochemical Profiles and In Vitro Immunomodulatory Activity of Ethanolic Extracts from *Galium aparine L. Plants (Basel)*. 2019; 8 (12): 541. DOI: 10.3390/plants8120541.

36. Bulycheva T. I., Deineko N. L., Grigoriev A. A. Immunochemical assessment of lymphocyte stimulation by phytohemagglutinin of the lymphocyte blast transformation reaction with monoclonal antibodies KI-67. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2014; 7: 51–54. (In Russ.)

37. Pletnev V. V. Study of embryotoxic and teratogenic properties of Medicine No. 60 and evaluation of its effect on the reproductive function of rats. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*. 2022; 29 (1): e40–e49. DOI: 10.47750/jptcp.2022.885.

38. Dong Z., Tang S. S., Ma X. L., Tan B., Tang Z. S., Li C. H., Yang Z. H., Zeng J. G. Acute, chronic, and genotoxic studies on the protopine total alkaloids of the *Macleaya cordata* (willd.) R. Br. in rodents. *Front Pharmacology*. 2022; 13: 987800. DOI: 10.3389/fphar.2022.987800.

39. Seegmiller R. E., Cook N., Goodwin K., Leishman T., Graf M. Assessment of Gross Fetal Malformations: The Modernized Wilson Technique and Skeletal Staining. *Methods in Molecular Biology*. 2019; 1965: 421–434. DOI: 10.1007/978-1-4939-9182-2_27.

40. Borodina A. Yu., Kryshen K. L., Savchenko A. Yu., Makarova M. N., Makarov V. G. Study of embryotoxic, fetotoxic and teratogenic effects of the new anti-tuberculosis drug thiozonide in pregnant rabbits. *Safety and Risk of Pharmacotherapy*. 2023; 11 (2): 191–204. DOI: 10.30895/2312-7821-2023-11-2-191-204. (In Russ.)

41. Kryshen K. L., Katelnikova A. E., Muzhikyan A. A., Makarova M. N., Makarov V. G. Regulatory and methodological aspects of studying the allergenic properties of new drugs at the stage of preclinical studies. *Bulletin of the Scientific Center for Expertise of Medical Products*. 2018; 8 (1): 44–55. DOI: 10.30895/1991-2919-2018-8-1-44-55. (In Russ.)

42. Ampilogova I. N., Karlina M. V., Makarov V. G., Makarova M. N. The interconnection between pharmaceutical development and preclinical research (review). *Development and Registration of Medicines*. 2023; 12 (2): 155–163. DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-2-155-163. (In Russ.)

43. Gushchin I. S. Doubts and hopes in the study of allergies. *Immunology*. 2023; 44 (4): 471–480. DOI: 10.33029/0206-4952-2023-44-4-471-480. (In Russ.)

Autors' information:

Pavel V. Burkov, candidate of veterinary sciences, head of the research center for animal reproduction biotechnology, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 6276. *E-mail: burcovpavel@mail.ru*

Pavel N. Shcherbakov, doctor of veterinary science, professor, department of infectious diseases and veterinary-sanitary expertise, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0001-8685-4645, AuthorID 677525. *E-mail: scherbakov_pavel@mail.ru*

Marina A. Derkho, doctor of biological sciences, professor, head of the department of natural sciences, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613. *E-mail: derkho2010@yandex.ru*

Maksim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, Candidate of Veterinary Sciences, professor, Chief researcher, Gorbатов Scientific Center of Food Systems, Moscow, Russia; Professor of the Department of Biotechnology and Food Products, department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: rebezov@ya.ru*

Arina O. Derkho, postgraduate, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0002-1914-8721, AuthorID 1092200. *E-mail: arina_avrora@mail.ru*

Состояние породных ресурсов крупного рогатого скота в генофондных хозяйствах России

Н. В. Кони́к¹✉, Е. Р. Гостева², И. Р. Тлецерук³, О. А. Краснова⁴, З. В. Псхациева⁵

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

³Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

⁴Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

⁵Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

✉E-mail: koniknv@mail.ru

Аннотация. Цель исследований заключалась в оценке результативности производственного использования малочисленных пород крупного рогатого скота, разводимых в генофондных хозяйствах страны. **Методы.** Поставленная в исследовании цель достигалась посредством применения методов анализа и обобщения с использованием специальной научной литературы по анализируемой проблеме, ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации, периодических изданий. Объект исследования: породы крупного рогатого скота генофондных хозяйств России (бестужевская, горный скот Дагестана, истобенская, кавказская бурая, красная степная, тагильская, якутский скот, Печорский тип холмогорской породы). **Результаты.** Среди всех пород, разводимых в генофондных хозяйствах, самыми позднеспелыми, продолжительнее достигавшими возраста первого отела, оказался Якутский скот, а также особи истобенской и красной степной пород, у которых он варьировал в пределах 33,4–35,3 месяца. Следует отметить как положительную закономерность раннее достижение животными тагильской породы анализируемого показателя, которое составило 26 месяцев. Оптимальной продолжительностью периода от отела до плодотворного осеменения отличались коровы из генофондных хозяйств Республики Дагестан – Горный скот Дагестана и кавказская бурая – 71 и 74 дней соответственно, а также маточное поголовье бестужевской породы – 86 дней. Наибольшая длительность сервис-периода зарегистрирована в стадах генофондных хозяйств истобенской породы и Печорского типа холмогорской породы. Вызывает опасение ранний возраст выбытия Якутского скота, что наряду с малочисленностью коров в этой породе не только снизит воспроизводство стада, но и приведет к полному исчезновению данной популяции. Самым низким выходом телят на 100 коров характеризуются животные Печорского типа холмогорской породы – 63,1, у всех остальных пород он варьирует в пределах 80–91 теленка. **Научная новизна.** Впервые проведен мониторинг численности и современного состояния производственного использования малочисленных пород молочного скота в генофондных хозяйствах России.

Ключевые слова: порода, генофондное хозяйство, численность, продуктивность, воспроизводительная способность

Для цитирования: Кони́к Н. В., Гостева Е. Р., Тлецерук И. Р., Краснова О. А., Псхациева З. В. Состояние породных ресурсов крупного рогатого скота в генофондных хозяйствах России // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1193–1202. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1192-1202>.

Дата поступления статьи: 29.02.2024, **дата рецензирования:** 23.06.2024, **дата принятия:** 22.07.2024.

The state of cattle breed resources in Russian gene pool farms

N. V. Konik¹✉, E. R. Gosteva², I. R. Tletseruk³, O. A. Krasnova⁴, Z. V. Pskhatsieva⁵

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

² Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

³ Maykop State Technological University, Maykop, Russia

⁴ Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

⁵ Dagestan State Agricultural University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia

✉ E-mail: koniknv@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to assess the effectiveness of the production use of small breeds of cattle bred in the country's gene pool farms. **Methods.** The purpose set in the study was achieved through the use of methods of analysis and generalization using special scientific literature on the problem being analyzed, a yearbook on breeding work in dairy cattle breeding on farms of the Russian Federation, and periodicals. Object of study: cattle breeds of gene pool farms in Russia (Bestuzhev, Mountain cattle of Dagestan, Istoben, Caucasian brown, red steppe, Tagil, Yakut cattle, Pechora type of Kholmogory breed). **Results.** Among all the breeds bred in gene pool farms, the latest ripening ones, which took the longest to reach the age of first calving, were Yakut cattle, as well as individuals of the Istoben and Red Steppe breeds, in which it varied within 33.4–35.3 months. It should be noted as a positive pattern that the animals of the Tagil breed achieved the analyzed indicator early, which was 26 months. The optimal duration of the period from calving to fertile insemination was distinguished by cows from the gene pool farms of the Republic of Dagestan – Mountain cattle of Dagestan and Caucasian brown – 71 and 74 days, respectively, as well as the breeding stock of the Bestuzhev breed – 86 days. The longest duration of the service period was recorded in the herds of gene pool farms of the Istoben breed and the Pechora type of the Kholmogory breed. The early age of retirement of Yakut cattle raises concerns, which, along with the small number of cows in this breed, will reduce not only the reproduction of the herd, but will also lead to the complete disappearance of this population. The lowest yield of calves per 100 cows is characterized by animals of the Pechora type of the Kholmogory breed – 63,1; for all other breeds it varies between 80–91 calves. **Scientific novelty.** For the first time, monitoring of the numbers and current state of industrial use of small breeds of dairy cattle in gene pool farms in Russia was carried out.

Keywords: breed, gene pool, numbers, productivity, reproductive ability

For citation: Konik N. V., Gosteva E. R., Tletseruk I. R., Krasnova O. A., Pskhatsieva Z. V. The state of cattle breed resources in Russian gene pool farms. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1193–1202. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1192-1202>. (In Russ.)

Date of paper submission: 29.02.2024, **date of review:** 23.06.2024, **date of acceptance:** 22.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Генофондные хозяйства по разведению племенных сельскохозяйственных животных малочисленных и исчезающих видов и пород являются одним из действенных способов по их сохранению. Необходимость сохранения и тиражирования животных в этих хозяйствах безусловна, она обусловлена множеством общеизвестных причин.

В генофондных хозяйствах страны сосредоточено лишь 8 пород крупного рогатого скота, хотя имеется настоятельная необходимость их увеличения в связи с продолжающимся вытеснением ряда локальных пород высокопродуктивными генетическими ресурсами зарубежных пород путем исполь-

зования семени, эмбрионов и интродукции животных из зарубежных стран.

Интенсивное использование голштинов красной и черно-пестрой масти в стадах холмогорской и тагильской пород привело к практически полному поглощению их улучшающей породой, что обусловило потерю ряда ценных признаков и свойств пород [1]. Аналогичные процессы прослеживаются в других отечественных молочных породах крупного рогатого скота.

Численность скота бестужевской, холмогорской, ярославской, красной горбатовской, суксунской и костромской пород сократилась за последние полвека более чем в 10 раз [2].

От многих отечественных и зарубежных пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности скот холмогорской породы отличался лучшими показателями рождаемости, смертности, самой короткой продолжительностью сервис-периода (101,7 дня) [3], тогда как сейчас в генофондных хозяйствах этот показатель достигает 164 дней [4], что, вероятно, обусловлено рядом объективных и субъективных причин. Холмогорская порода, несмотря на меньший уровень удоев в среднем за одну лактацию и более продолжительное достижение возраста первого отела, в сравнении с коммерческими породами отличалась большей молочностью за сумму полных законченных лактаций [3]. Значение генофонда холмогорской породы в качественном совершенствовании и выведении отечественных пород трудно переоценить, так как она была исходным материалом при создании тагильской, истобенской и бестужевской пород, а также на основе холмогорской породы и отродья печорского скота был выведен печорский тип холмогорской породы [5], в настоящее время находящийся в генофондном хозяйстве.

В бестужевской породе крупного рогатого скота встречаются животные, которые обладают уникальными аллельными сочетаниями, что может быть использовано в качестве резерва биологического разнообразия. Вместе с тем значительное сокращение численности представителей данной породы приводит к повышению инбридинга в породе и грозит вырождением или полным исчезновением этой породы, в случае если такая негативная тенденция сохранится в дальнейшем [6].

Особую озабоченность вызывает состояние крупного рогатого скота тагильской породы, численность маточного поголовья которой в генофондных хозяйствах в 2020 году составляла 100 голов [7], теперь – 73 головы [4], что является критическим для ее сохранения.

Еще в 2018 г. в перечень генофондных хозяйств России входили хозяйства, занимающиеся сохранением скота бурой швицкой породы (кавказский тип) [8; 9], которые в настоящее время не функционируют. Аналогичную участь постигло генофондное хозяйство ЗАО «Комаровское» Нижегородской области, где в 2015 году содержалось 83 головы крупного рогатого скота красной горбатовской породы, из которых 50 – коровы [10].

По сведениям И. А. Пароняна [9], животные из генофондных хозяйств в отличие от всего пробонитированного поголовья отличались более длительным продуктивным долголетием (1,42 отела) и большим выходом телят на 100 коров (в среднем на 3,2 теленка).

Истобенская и тагильская породы, горный скот Дагестана и кавказский тип бурой швицкой пород сосредоточены только в генофондных хозяйствах

[11]. При этом генофондные хозяйства по разведению скота бурой швицкой породы кавказского типа в настоящее время прекратили свою деятельность.

Характеризуя истобенскую породу, отмечают, что положительными качествами этих животных считаются адаптированность к местным условиям климата, продолжительная жизнь, крепкая конституция и выносливость, а отрицательными – неправильная постановка конечностей [12]. В пользу необходимости сохранения якутского аборигенного скота также свидетельствуют высокая концентрация жира в молоке, порой достигающая 7,8 %, прекрасные вкусовые качества и энергетическая ценность молочного и мясного сырья [13].

Интересно приводимое соотношение наиболее распространенных и малочисленных молочных пород в сельскохозяйственных организациях и коллективных фермерских хозяйств страны по численности и объемам произведенного молока, из которого следует, что на долю основных пород приходится 71,5 % всего поголовья коров, от которых произведено 99,8 % коровьего молока-сырья против 0,2 и 0,2 % соответственно [14].

Мониторинг динамики поголовья якутской породы скоты в Республике Саха (Якутия) в течение 2014–2021 годов свидетельствует о положительном количественном изменении за анализируемый период, в результате которого поголовье увеличилось с 1343 до 2378 голов, в том числе коров с 541 до 976 голов [15].

Анализ случного периода в генофондном хозяйстве по разведению якутского скота «Кылыс» Горного улуса Республики Саха (Якутия) свидетельствует, что в результате гормонального стимулирования продолжительность сервис-периода сократилась и достигла 68 суток, увеличился процент покрытия маточного поголовья быками. В результате периодического применения гормональной обработки увеличился процент длительно используемых коров стада, где численность особей 10–19-летнего возраста составила 54 % [16].

Цель исследований – оценить состояние малочисленных пород крупного рогатого скота в генофондных хозяйствах страны.

В соответствии с поставленной целью исследований решались задачи изучения численности скота, в том числе маточного поголовья, продуктивных особенностей и ценных производственных качеств коров генофондных пород.

Методология и методы исследования (Methods)

Поставленная в исследовании цель достигалась посредством применения методов анализа и обобщения с использованием специальной научной литературы по анализируемой проблеме, ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации [4], периодических изданий.

Таблица 1
Численность, молочная продуктивность и живая масса коров разных пород в генофондных хозяйствах

Порода	Показатель				
	Количество коров, тыс. гол.	Удой, кг	Жир, %	Белок, %	Живая масса, кг
По всем породам	3,730	3374	4,05	3,34	459
Бестужевская	0,326	5803	3,95	3,23	516
Горный скот Дагестана	0,352	1991	4,29	3,37	359
Истобенская	0,374	4340	3,83	3,38	526
Кавказская бурая	1,191	2796	3,92	3,31	427
Красная степная	0,790	4725	4,19	3,35	556
Тагильская	0,073	3538	3,95	3,10	505
Холмогорская	0,279	2885	3,74	3,12	448
Печорский тип	0,279	2885	3,74	3,12	448
Якутский скот	0,345	702	4,55	3,61	318

Table 1
Number, milk productivity and live weight of cows of different breeds in gene pool farms

Breed	Index				
	Number of cows, thousand heads	Milk yield, kg	Fat, %	Protein, %	Live weight, kg
For all breeds	3.730	3374	4.05	3.34	459
Bestuzhev	0.326	5803	3.95	3.23	516
Mountain cattle of Dagestan	0.352	1991	4.29	3.37	359
Istoben	0.374	4340	3.83	3.38	526
Caucasian brown	1.191	2796	3.92	3.31	427
Red steppe	0.790	4725	4.19	3.35	556
Tagil	0.073	3538	3.95	3.10	505
Kholmogory	0.279	2885	3.74	3.12	448
Pechora type	0.279	2885	3.74	3.12	448
Yakut cattle	0.345	702	4.55	3.61	318

Объект исследования: породы крупного рогатого скота генофондных хозяйств России (бестужевская, горный скот Дагестана, истобенская, кавказская бурая, красная степная, тагильская, якутский скот, Печорский тип холмогорской породы).

Результаты (Results)

О численности и продуктивности коров разных пород, разводимых в генофондных хозяйствах Российской Федерации, можно судить по материалам, представленным в таблице 1.

Относительная численность коров всех разводимых в генофондных хозяйствах пород от всего маточного поголовья страны составляет 0,3 %. В отдельных породах удельный вес численности коров в генофондных хозяйствах от имеющегося во всех категориях хозяйств значительно различается. Так, в бестужевской породе он составляет 7,49 %, красной степной породе – 2,42 %, холмогорской – 0,63 %, Печорском типе – 48,61 %. По всем остальным породам все маточное поголовье сосредоточено в генофондных хозяйствах и свидетельствует об их малочисленности и необходимости не только со-

хранения, но и увеличения численности. Катастрофически низкая численность коров в тагильской породе – 73 головы.

По удою коров из генофондных хозяйств лидирующую позицию занимает бестужевская порода с продуктивностью 5803 кг, меньше всех производит Якутский скот – на уровне 702 кг молока. Однако коровы Якутского скота производят самое жирно- и белковомолочное молоко – 4,55 и 3,61 % соответственно. Незначительно Якутскому скоту уступают по жирномолочности Горный скот Дагестана (на 0,26 абс. %) и коровы красной степной породы (на 0,36 абс. %). Менее жирномолочными оказались особи Печорского типа холмогорской породы – 3,74 %. Минимальное содержание белка в молоке характерно для коров тагильской и холмогорской пород. Следует обратить внимание на высокую белковость молока, свойственную коровам красной степной, истобенской пород, а также Горного скота Дагестана, чьи показатели составили в среднем 3,35–3,38 %.

Результаты производственного использования коров разных пород в генофондных хозяйствах страны

Порода	Показатель				
	Возраст при первом отеле, дней	Продолжительность периода, дней		Возраст выбытия коров, отелов	Выход телят на 100 коров, голов
		Сервис-периода	Сухостойного		
По всем породам	940	110	65	5,00	82,8
Бестужевская	855	86	60	3,50	91,0
Горный скот Дагестана	838	71	65	6,38	84,3
Истобенская	1058	163	57	4,80	80,0
Кавказская бурая	831	74	65	6,97	84,4
Красная степная	1003	143	57	4,25	83,2
Тагильская	780	133	57	4,10	89,0
Холмогорская	955	164	75	6,39	63,1
Печорский тип	955	164	75	6,39	63,1
Якутский скот	1055	128	90	1,30	83,0

Table 2

Results of the production use of cows of different breeds in the country's gene pool farms

Breed	Index				
	Age at 1st calving, days	Duration of period, days		Age of retirement of cows, calving	Calf yield per 100 cows, heads
		Service-period	Dry period		
For all breeds	940	110	65	5.00	82.8
Bestuzhev	855	86	60	3.50	91.0
Mountain cattle of Dagestan	838	71	65	6.38	84.3
Istobens	1058	163	57	4.80	80.0
Caucasian brown	831	74	65	6.97	84.4
Red steppe	1003	143	57	4.25	83.2
Tagil	780	133	57	4.10	89.0
Kholmogory	955	164	75	6.39	63.1
Pechora type	955	164	75	6.39	63.1
Yakut cattle	1055	128	90	1.30	83.0

Самыми легковесными оказались коровы Якутского скота, которые уступали особям красной степной породы, характеризующимися большей массой тела, в среднем на 238 кг. Вероятно, для Якутского скота имеющаяся живая масса в сложнейших условиях разведения является сформировавшейся на протяжении веков.

Ареал распространения крупного рогатого скота в генофондных хозяйствах охватывает Дальневосточный федеральный округ – Республику Саха (Якутия), где разводят Якутский скот, Приволжский федеральный округ – Республику Башкортостан (бестужевская порода), Кировскую область (истобенская порода) и Пермский край (тагильская порода), Северо-Западный федеральный округ – Республику Коми (Печорский тип холмогорской породы), Северо-Кавказский федеральный округ – Республику Дагестан (горный скот Дагестана и кавказская бурая порода) и Ставропольский край (красная степная порода).

Результаты производственного использования анализируемых пород в генофондных хозяйствах Российской Федерации отражены в таблице 2.

Среди всех пород, разводимых в генофондных хозяйствах, самыми позднеспелыми, продолжительнее достигшими возраста первого отела, оказался Якутский скот, а также особи истобенской и красной степной пород, у которых он варьировал в пределах 33,4–35,3 месяцев. Следует отметить как положительную закономерность раннее достижение животными тагильской породы анализируемого показателя (26 месяцев).

Оптимальной продолжительностью периода от отела до плодотворного осеменения отличались коровы из генофондных хозяйств Республики Дагестан – Горный скот Дагестана и кавказская бурая – 71 и 74 дней соответственно, а также маточное поголовье бестужевской породы – 86 дней. Наибольшая длительность сервис-периода зарегистрирована в стадах генофондных хозяйств истобенской породы и Печорского типа холмогорской породы.

Основные производственные показатели коров разных пород в генофондных хозяйствах Северного Кавказа

Порода, хозяйство	Крупный рогатый скот, голов		Живая масса коров по стаду, кг	Возраст в отелах	Сервис-период, суток	Удой по лактациям			Удой по стаду
	Всего	Из них коров				1-я	2-я	3-я и старше	
Кавказская бурая КХ «АФ Чох» СПК «Уллучай» СПК «Племхоз им. Б. Аминова СПК «Племхоз Кулинский» СПК «АФ-Довра-2» Горный скот Дагестана СПК племхоз «Урарахский» ООО «НПФ «Племсервис» СПА «Оттоник» Красная степная СПК «ПЗ Вторая пятилетка» ЗАО «Октябрьский»	298	130	424	3,8	111	2200	2757	2900	2744
	165	107	418	2,5	63	2356	2597	2967	2760
	450	360	429	4,4	61	2442	2563	3092	2953
	896	527	430	5,1	76	2188	2659	2768	2746
	209	100	414	4,9	69	2245	2678	2935	2619
	197	112	347	4,9	64	1588	1692	1895	1725
	273	170	347	2,7	66	1720	1845	2393	2151
	170	110	387	3,5	85	1850	2014	2235	2033
	680	420	546	3,3	118	3750	4436	4386	4272
	1083	620	563	2,8	161	4633	4922	5351	5008

Table 3
Main production indicators of cows of different breeds in gene pool farms of the Republic of Dagestan

Breed, farm	Cattle, head		Live weight of cows by herd, kg	Age at calving	Service period, days	Milk yield by lactation			Milk by herd
	Total	Of which cows				1st	2nd	3rd and older	
Caucasian brown CF "AIC Chokh" APC "Ulluchay" APC "Breeding farm named after B. Aminov" APC "Breeding farm Kulinskiy" APC "AIC-Isovkra-2" Mountain cattle of Dagestan APC breeding farm "Urkarakhskiy" LLC "RPC Plemservis" APA "Otgonnik" Red steppe APC "Breeding plant Vioraya pyatiletka" PLC "Oktyabr'skiy"	298	130	424	3,8	111	2200	2757	2900	2744
	165	107	418	2,5	63	2356	2597	2967	2760
	450	360	429	4,4	61	2442	2563	3092	2953
	896	527	430	5,1	76	2188	2659	2768	2746
	209	100	414	4,9	69	2245	2678	2935	2619
	197	112	347	4,9	64	1588	1692	1895	1725
	273	170	347	2,7	66	1720	1845	2393	2151
	170	110	387	3,5	85	1850	2014	2235	2033
	680	420	546	3,3	118	3750	4436	4386	4272
	1083	620	563	2,8	161	4633	4922	5351	5008

Концентрация белка и жира в молоке коров генофондных пород Северо-Кавказского федерального округа, %

Порода, хозяйство	Показатель					
	Белок			Жир		
	Лактация по счету					
	1-я	2-я	3-я и старше	1-я	2-я	3-я и старше
Кавказская бурая						
КХ «АФ Чох»	3,23	3,24	3,24	3,91	3,92	3,94
СПК «Уллучай»	3,37	3,37	3,36	4,01	3,99	3,97
СПК «Племхоз им. Б. Аминова»	3,26	3,25	3,34	3,88	3,85	3,93
СПК «Племхоз Кулинский»	3,36	3,33	3,32	3,91	3,97	3,92
СПК «АФ-Цовкра-2»	3,30	3,31	3,33	3,89	3,90	3,92
Горный скот Дагестана						
СПК племхоз «Уркарахский»	3,32	3,34	3,34	4,09	4,15	4,32
ООО «НПФ «Племсервис»	3,36	3,36	3,40	4,27	4,26	4,32
СПА «Отгонник»	3,30	3,30	3,40	4,30	4,40	4,50
Красная степная						
СПК «ПЗ Вторая пятилетка»	3,25	3,18	3,20	3,89	4,07	3,90
ЗАО «Октябрьский»	3,45	3,48	3,43	4,35	4,42	4,32

Table 4
Concentration of protein and fat in milk of cows of gene pool breeds of the North Caucasus Federal District, %

Breed, farm	Indicator					
	Protein			Fat		
	Lactation by count					
	1st	2nd	3rd and older	1st	2nd	3rd and older
Caucasian brown						
CF "AIC Chokh"	3.23	3.24	3.24	3.91	3.92	3.94
APC "Ulluchay"	3.37	3.37	3.36	4.01	3.99	3.97
APC "Breeding farm named after B. Aminov"	3.26	3.25	3.34	3.88	3.85	3.93
APC "Breeding farm Kulinskiy"	3.36	3.33	3.32	3.91	3.97	3.92
APC "AC-Tsovkra-2"	3.30	3.31	3.33	3.89	3.90	3.92
Mountain cattle of Dagestan						
APC breeding farm "Urkarakhskiy"	3.32	3.34	3.34	4.09	4.15	4.32
LLC "RPC Plemservis"	3.36	3.36	3.40	4.27	4.26	4.32
APA "Otgonnik"	3.30	3.30	3.40	4.30	4.40	4.50
Red steppe						
APC "Breeding plant Vtoraya pyatiletka"	3.25	3.18	3.20	3.89	4.07	3.90
PLC "Oktyabr'skiy"	3.45	3.48	3.43	4.35	4.42	4.32

Коровы Якутского скота значительно отличались от коров других пород по длительности сухостойного периода, который составил 3 месяца, что в 1,5–2 раза превышает рекомендуемые значения для вида в целом. Относительно продолжительным оказался анализируемый показатель и у холмогорок Печорского типа (75 дней), тогда как у остальных пород полученные индикаторы находились в пределах нормы.

Вызывает опасение ранний возраст выбытия Якутского скота, что наряду с малочисленностью коров в этой породе не только снизит воспроизводство стада, но и приведет к полному исчезновению данной популяции. Более 6 отелов из подконтрольного поголовья коров из анализируемой категории хозяйств эксплуатируют Горный скот Дагестана, Печорский тип холмогорской породы и кавказскую бурую породы.

Самым низким выходом телят на 100 коров характеризуются животные Печорского типа холмогорской породы – 63,1, у всех остальных пород он варьирует в пределах 80–91 теленок.

Основные производственные показатели коров разных пород в генофондных хозяйствах Северного Кавказа имеют определенные отличия, данные о которых представлены в таблице 3.

Численность представленных пород в генофондных хозяйствах страны катастрофически низкая: кавказской бурой породы – 2018 голов, в том числе 1224 коров, Горного скота Дагестана – 640 и 392 голов соответственно. В отличие от перечисленных пород в генофондных хозяйствах по разведению крупного рогатого скота красной степной породы, расположенных в Ставропольском крае, численность всего скота, в том числе коров, достигает суммарно 1763 и 1040 голов соответственно,

что значительно больше, чем животных Горного скота Дагестана.

Внутрипородные отличия по живой массе коров кавказской бурой породы мало различались в зависимости от хозяйственной принадлежности, тогда как Горного скота Дагестана достигали 40 кг с лидерством животных СПА «Отгонник». Масса тела коров красной степной породы в обоих генофондных хозяйствах варьировала в пределах 546–563 кг.

По среднему возрастному составу отличия как в кавказской бурой породе, так и в Горном скоте Дагестана достигли существенных значений. Так, у первых они варьировали от 2,5 до 5,1 отелов, у вторых – 2,7–4,9 отелов.

В разрезе генофондных хозяйств красной степной породы возраст в отелах маточного поголовья не превышал 0,5 отела и составил в среднем 3 отела.

У коров всех генофондных хозяйств, занимающихся разведением скота кавказской бурой породы, за исключением КХ «АФ Чох», и Горного скота Дагестана, имеет место «идеальная» продолжительность сервис-периода (до 85 суток), что является оптимальным в плане ежегодного получения теленка от коровы. Более продолжителен этот период у особей красной степной породы, особенно в ЗАО «Октябрьский» (5,3 месяца).

Анализ молочности коров генофондных пород свидетельствует о низком уровне удоев в разрезе как пород, так и лактаций. В хозяйствах, занимающихся разведением кавказской бурой породы, возрастное увеличение удоев составило в среднем 580–700 кг, Горного скота Дагестана – 307–673 кг. Ожидаемо выше удои оказались у представителей красной степной породы, у которых они повысились в среднем на 636–718 кг молока. Следует отметить, что удои коров ЗАО «Октябрьский» оказались выше во все лактации, чем у сверстниц СПК «ПЗ Вторая пятилетка». Так, различия в первую лактацию составили 883 кг, во вторую – 486 кг, в третью и старше – 965 кг, а в среднем за все лактации – 736 кг. Наименьший уровень молочности проявил Горный скота Дагестана (в среднем по стадам 1725–2151 кг молока).

О различиях в качественных показателях молока (жирно- и белковомолочности) коров из генофондных хозяйств Северного Кавказа можно судить по материалам, представленным в таблице 4.

Среди генофондных хозяйств, специализирующихся на разведении кавказской бурой породы, максимальными значениями основных питательных веществ молока, независимо от лактации, отличались животные стада СПК «Уллучай». В целом у коров всех генофондных хозяйств отмечаются высокие показатели жирно- и белковомолочности, которые позволяют получать от них молочные продукты высокого качества. Горный скот Дагестана в отличие от сверстниц кавказской бурой породы демонстрировал значительно больший уровень жирности молока, достигавший 4,09–4,5 %. Особенно показательны индикаторы жирномолочности, достигнутые в стаде СПА «Отгонник», где по первой лактации среднее значение составило 4,3 % с последующим увеличением и достижением 4,5 % у полновозрастных коров. Коровы красной степной породы ЗАО «Октябрьский» среди всех генофондных пород и хозяйств округа первенствовали по концентрации массовой доли в молоке, чьи значения находились в пределах 3,43–3,48 %. Эти животные отличались и достаточно высокой жирномолочностью в разрезе лактаций – 4,32–4,42 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Низкий уровень продуктивности кавказской бурой породы и горного скота Дагестана, естественно, не восполнит «молочную» корзину страны, но данные породы являются ценным генетическим материалом и порой единственным источником потребления белковых продуктов животного происхождения населением горных территорий Северного Кавказа. В анализируемых породах имеется опыт длительного использования маточного поголовья в стадах (до 5 отелов). Практически во всех хозяйствах вследствие оптимальной продолжительности сервис-периода ежегодно получают от каждой коровы по одному теленку. От коров красной степной, кавказской бурой пород и Горного скота Дагестана получают молоко высокой пищевой ценности, позволяющее его использовать в молокоперерабатывающей отрасли.

Библиографический список

1. Казаков Д. С., Белокуров С. Г. Влияние быков-производителей разной селекции на продуктивное долголетие коров костромской породы [Электронный ресурс] // Вестник биотехнологии. 2017. № 2 (12). С. 11. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29656398_85586984.pdf (дата обращения: 15.02.2024).
2. Зиновьева Н. А., Сермягин А. А., Доцев А. В., Боронецкая О. И., Петрикеева Л. В., Абдельманова А. С., Врем Г. Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда российских пород крупного рогатого скота – миниобзор // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 4. С. 631–641. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.4.631rus.
3. Матюков В. С., Жариков Я. А., Зиновьева Н. А. Генетическая история и ценность генофонда исчезающей холмогорской породы // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 2. С. 2–8.

4. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 год). Москва: Издательство ФГБНУ ВНИИПлем, 2023. 255 с.
5. Прожерин В. П., Ялуга В. Л. Холмогорская порода // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 7. С. 10.
6. Мишина А. И., Абдельманова А. С. Современное состояние бестужевской породы крупного рогатого скота // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (65). С. 80–87. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-4-80-87.
7. Тяпугин С. Е., Тяпугин Е. Е., Герасимова Е. В., Мышкина М. С., Семенова Н. В. Состояние молочных пород в России // Синергия Наук. 2022. № 77. С. 675–690.
8. Паронян И. А. Возможности сохранения и совершенствования генофонда пород крупного рогатого скота отечественной селекции // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 5. С. 63–66. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10516.
9. Паронян И. А. Современное состояние генофонда молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота в Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 79–83. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10615.
10. Шаркаева Г. А., Шаркаев В. И. Производственное использование маточного поголовья в генофондных хозяйствах // Молочная промышленность. 2017. № 2. С. 77–79.
11. Шаркаева Г. А., Сударев Н. П., Шаркаев В. И., Жилкина А. И. Молочная продуктивность и генеалогическая структура маточного поголовья генофондных хозяйств Российской Федерации // Аграрный вестник Верхневолжья. 2016. № 3. С. 95–99.
12. Чеченихина О. С., Мустафина А. А. Современные специализированные породы и типы молочного скота [Электронный ресурс] // Аграрное образование и наука. 2023. № 1. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50370130> (дата обращения: 15.02.2024).
13. Корякина Л. П., Степанов К. М. Естественная сезонная адаптация аборигенного якутского скота // Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2. С. 58–63.
14. Чинаров В. И. Породные ресурсы скотоводства России // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 7. С. 80–85. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10714.
15. Попов Р. Г., Попова Н. В. Адаптационные особенности якутской породы скота // Ветеринария и кормление. 2022. № 4. С. 48–51. DOI: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2022-4-12.
16. Владимиров Л. Н., Мачахтыров Г. Н., Попов Р. Г., Мачахтырова В. А., Андреева М. В., Шадрина Я. Л., Лукин В. Н. К проблеме сохранения популяции: изучение репродуктивных особенностей якутского скота // Ветеринария и кормление. 2022. № 4. С. 11–14. DOI: 10.30917/АТТ-VK-1814-9588-2022-4-3.

Об авторах:

Нина Владимировна Коник, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия; ORCID 0000-0002-8465-1120, AuthorID 349506. *E-mail: koniknv@mail.ru*

Екатерина Ряшитовна Гостева, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела животноводства, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия; ORCID 0000-0003-1149-9540, AuthorID 302307. *E-mail: ekagosteva@yandex.ru*

Ирина Рашидовна Тлецерук, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0003-4673-4707, AuthorID 580670. *E-mail: irina.tletseruk@yandex.ru*

Оксана Анатольевна Краснова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой частного животноводства, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0002-0304-512X, AuthorID 355897. *E-mail: krasnova-969@mail.ru*

Земфира Владимировна Псахчиева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры овцеводства, скотоводства и технологии производства и переработки продукции животноводства, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия; ORCID 0000-0003-1306-3628, AuthorID 637083. *E-mail: zzz-ppp432@mail.ru*

References

1. Kazakov D. S., Belokurov S. G. The influence of sires with different breeding for productive longevity of cows of the Kostroma breed. *Vestnik Biotekhnologii*. 2017; 2 (12): 11. (In Russ.)
2. Zinov'eva N. A., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Boronetskaya O. I., Petrikeeveva L. V., Abdel'manova A. S., Brem G. Animal genetic resources: developing the research of allele pool of Russian cattle breeds – minireview. *Agricultural Biology*. 2019; 54 (4): 631–641. DOI: 10.15389/agrobiol.2019.4.631rus. (In Russ.)

3. Matyukov V. S., Zharikov Ya. A., Zinov'eva N. A. Genetic history and value of the gene pool appearing Holmogosky breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2018; 2: 2–8. (In Russ.)
4. *Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding on farms of the Russian Federation (2022)*. Moscow: Publishing house of the Federal State Budgetary Scientific Institution VNIIPlem, 2023. 255 p. (In Russ.)
5. Prozherin V. P., Yaluga V. L. Kholmogory breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020; 7: 10. (In Russ.)
6. Mishina A. I., Abdel'manova, A. S. Current state of the bestuzhevskaya cattle breed. *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021; 65 (4): 80–87. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-4-80-87. (In Russ.)
7. Tyapugin S. E., Tyapugin E. E., Gerasimova E. V., Myshkina M. S., Semenova N. V. The state of dairy breeds in Russia. *Synergy of Sciences*. 2022; 77: 675–690. (In Russ.)
8. Paronyan I. A. Possibilities of preservation and improvement of the gene pool of cattle of domestic breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018; 32 (5): 63–66. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10516. (In Russ.)
9. Paronyan I. A. The current state of the gene pool of dairy and dairy-meat cattle breeds in the Russian Federation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020; 34 (6): 79–83. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10615. (In Russ.)
10. Sharkaeva G. A., Sharkaev V. I. Production usage of the mother cattle population in the gene funds farms. *Dairy Industry*. 2017; 2: 77–79. (In Russ.)
11. Sharkaeva G. A., Sudarev N. P., Sharkaev V. I., Zhilkina A. I. Milk productivity and genealogical structure of gene pool farms breeding stock in Russia. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2016; 3: 95–99. (In Russ.)
12. Chechenikhina O. S., Mustafina A. A. Modern specialized breeds and types of dairy cattle. *Agricultural Education and Science*. 2023; 1: 7. (In Russ.)
13. Koryakina L. P., Stepanov K. M. Natural seasonal adaptation of the yakuto original cattle. *International Scientific Agricultural Journal*. 2019; 2: 58–63. (In Russ.)
14. Chinarov V. I. Resources of Russian cattle breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020; 34 (7): 80–85. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10714. (In Russ.)
15. Popov R. G., Popova N. V. Adaptation features of the Yakut cattle breed. *Veterinaria i Kormlenie*. 2022; 4: 48–51. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-4-12. (In Russ.)
16. Vladimirov L. N., Machakhtyrov G. N., Popov R. G., Machakhtyrova V. A., Andreeva M. V., Shadrina Ya. L., Lukin V. N. On the problem of population conservation: the study of the reproductive characteristics of the Yakut cattle. *Veterinariya i Kormlenie*. 2022; 4: 11–14. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-4-3. (In Russ.)

Authors' information:

Nina V. Konik, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of technology of production and processing of livestock products, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia; ORCID 0000-0002-8465-1120, AuthorID 349506.

E-mail: koniknv@mail.ru

Ekaterina R. Gosteva, doctor of agricultural sciences, chief researcher, animal husbandry department, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia; ORCID 0000-0003-1149-9540, AuthorID 302307. *E-mail: ekagosteva@yandex.ru*

Irina R. Tletseruk, doctor of agricultural sciences, associate professor of the department of land management, Maykop State Technological University, Maykop, Russia; ORCID 0000-0003-4673-4707, AuthorID 580670.

E-mail: irina.tletseruk@yandex.ru

Oksana A. Krasnova, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of private animal husbandry, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0002-0304-512X, AuthorID 355897. *E-mail: krasnova-969@mail.ru*

Zemfira V. Pskhatsieva, doctor of agricultural sciences, professor of the department of sheep breeding, cattle breeding and technology of production and processing of livestock products, Dagestan State Agricultural University named after M. M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia; ORCID 0000-0003-1306-3628, AuthorID 637083. *E-mail: zzz-ppp432@mail.ru*

Сравнительная оценка кормовой продуктивности чины посевной в различных эколого-географических условиях

Т. В. Маракаева¹✉, В. В. Христин¹, С. А. Зайцев²

¹ Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия

² Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

✉ E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Аннотация. В статье приведены результаты изучения урожайности и качества зеленой массы четырех сортов чины посевной отечественной селекции: Рачейка, Жемчужина, Мраморная и Елена. **Цель исследования** – оценить фенотипическую изменчивость сортов чины по продолжительности вегетационного периода, урожайности и качеству зеленой массы, отобрать генотипы, устойчивые к лимитирующим факторам среды, способные формировать стабильно высокую кормовую продуктивность в отличающихся агроклиматических условиях. **Методы.** Исследования проведены в 2022–2023 гг. на учебно-опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ (г. Омск) и на базе ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (г. Саратов). Условия периода вегетации приближены к засушливым (ГТК = 0,64...1,02). На омском опытном участке почва лугово-черноземная среднесуглистая (45 см) малогумусная (3,95 % гумуса) среднесуглистая (35 % физической глины), на саратовском – чернозем южный среднесуглистый (42 см) малогумусный (3,80 % гумуса) тяжелосуглистый (43 % физической глины). Предшественник – зерновые культуры. При проведении исследований придерживались одинаковой методики: посев в первой декаде мая, норма высева – 700 тыс. шт. зерен на 1 га, площадь делянки – 5 м², глубина заделки семян – 5 см. **Результаты.** Условия произрастания существенное влияние оказывают на изменчивость продолжительности вегетационного периода (65,8 %) и уровень урожайности зеленой массы (54,2 %). Варьирование параметров биохимического состава в значительной степени обусловлено генотипом сорта (62,1 %). Оценка сортов по показателям адаптивности позволила распределить их по группам: 1 – экстенсивная форма с очень низкой фенотипической стабильностью (Мраморная); 2 – форма с высокой фенотипической стабильностью (Жемчужина); 3 – интенсивная форма с пониженной фенотипической стабильностью (Елена); 4 – интенсивная фенотипически высокостабильная форма (Рачейка). **Научная новизна.** Отобраны сорта с высокой фенотипической стабильностью кормовой продуктивности, слабо реагирующие на колебания климатических условий и показывающие низкие темпы снижения урожайности при неблагоприятных погодных факторах в различных регионах страны.

Ключевые слова: *Lathyrus sativus* L., чина посевная, сорт, вегетационный период, урожайность, питательная ценность, экологическая пластичность

Для цитирования: Маракаева Т. В., Христин В. В., Зайцев С. А. Сравнительная оценка кормовой продуктивности чины посевной в различных эколого-географических условиях // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1203–1213. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1203-1213>.

Дата поступления статьи: 04.03.2024, **дата рецензирования:** 11.06.2024, **дата принятия:** 29.07.2024.

Comparative assessment of the feed productivity of the sowing rank in various ecological and geographical conditions

T. V. Marakaeva^{1✉}, V. V. Khristich¹, S. A. Zaytsev²

¹Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia

²Russian Research and Design and Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

✉E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Abstract. The article presents the results of studying the yield and quality of green mass of four varieties of domestic sowing varieties: Racheyka, Zhemchuzhina, Mramornaya and Elena. **The purpose** of the study is to assess the phenotypic variability of chinese varieties in terms of the duration of the growing season, yield and quality of green mass, to select genotypes that are resistant to limiting environmental factors and capable of forming consistently high feed productivity in different agroclimatic conditions. **Methods.** Laboratory and field research was carried out in 2022–2023 on the educational and experimental field of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Omsk State Agrarian University” (Omsk) and on the basis of the Federal State Budgetary Institution Russian Research and Design Technological Institute of Sorghum and Corn (Saratov). The conditions of the growing season are close to arid ones, HTC = 0.64...1.02. In the Omsk experimental plot, the soil is meadow-chnozem medium-thick (45 cm), low-humus (3.95 % humus), semi-loam (35 % physical clay), in Saratov – southern chernozem low-humus (3.80 % humus), medium-thick (42 cm), clayed loam (43 % physical clay). The predecessor is grain crops. When conducting research, we followed the same methodology – sowing in the first ten days of May, seeding rate – 700 thousand pieces grains per hectare, plot area – 5 m², seed placement depth – 5 cm. **Results.** Growing conditions have a significant impact on the variability of the duration of the growing season – 65.8 % and the level of green mass yield – 54.2 %. The variation in the parameters of the biochemical composition is largely due to the genotype of the variety – 62.1 %. Evaluation of varieties according to adaptability indicators made it possible to distribute them into groups: 1 – extensive form with very low phenotypic stability (Mramornaya); 2 – form with high phenotypic stability (Zhemchuzhina); 3 – intensive form with reduced phenotypic stability (Elena); 4 – intensive phenotypically highly stable form (Racheyka). **Scientific novelty.** Varieties with high phenotypic stability of feed productivity, weakly responsive to fluctuations in climatic conditions and showing low rates of yield decline under unfavorable weather factors in various regions of the country were selected.

Keywords: Lathyrus sativus L., rank, variety, growing season, productivity, nutritional value, ecological plasticity

For citation: Marakaeva T. V., Khristich V. V., Zaytsev S. A. Comparative assessment of the feed productivity of the sowing rank in various ecological and geographical conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1203–1213. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1203-1213>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.03.2024, **date of review:** 11.06.2024, **date of acceptance:** 29.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Чина посевная (*Lathyrus sativus* L.) как культурное растение известна еще с периода неолита. Подтверждением этому являются найденные семена среди ископаемых остатков в гробницах Gebelen и Dra-Abu-Negga (Древний Египет). Еще со времен античности римляне выращивали разнообразные сорта чины для подкормки домашнего скота, называя ее *сicercula* [1]. Благодаря глубоко проникающей мощной корневой системе для возделывания культуры подходят все типы почв, даже низкоплодородные [2]. Продуктивный мутуализм с азотфиксирующими бактериями способствует восполнению собственного дефицита азотом и повышению

продуктивности многих сельскохозяйственных культур [3].

Среди многочисленных представителей бобовых культур чина широко известна как максимально адаптированная к биотическим изменениям и абиострессам [4]. Отмеченные в последние годы ощутимые колебания климатических факторов указывают на возделывание чины посевной как высокопластичной кормовой культуры в различных экологических условиях [5]. Ценность культуры подтверждается широким ареалом выращивания. Она популярна во всех точках мира: от стран Ближнего Востока до Австралии [6].

В сельскохозяйственном производстве Российской Федерации биологические и физиологические особенности чины посевной позволили ей распространиться между агрономическими ареалами выращивания гороха и нута, где культура превосходит их по продуктивности [7]. Из-за существенной степени ветвления стебля (до 8 продуктивных стеблей) на растении чины образуется почти в 2,5–3 раза больше бобов в сравнении с наиболее распространенными представителями зернобобовых культур (горох, соя) [8].

Чину возделывают в трех направлениях использования: кормовое, продовольственное и техническое [9]. Широко распространено первое. Вегетативная масса культуры отличается высоким содержанием основных аминокислот: лизина (3,88 %), аргинина (7,05 %), триптофана (1,60 %), а также чина богата изофлавоновыми гликозидами, такими как оробозид и др. На начальном этапе развития зеленая масса является источником каротина. В чинном сене содержится в 2,5 раза больше переваримого протеина (до 32 %) и в 1,5 раза – жира (до 5 %) в сравнении с овсом [10]. Стоит отметить, что клетчатки в растении чины посевной содержится почти в два раза меньше, чем в злаковых, а накапливается она гораздо медленнее. Следовательно, ее можно использовать намного дольше как пастбищную культуру [11].

К сожалению, недостаточная изученность и минимум научных исследований в целом привели к негативному отношению сельхозтоваропроизводителей к чине посевной как нетрадиционной культуре [12]. К тому же созданные современные высокоурожайные сорта возделываются в основном в регионах с полусухими климатическими условиями [13]. В Западной Сибири ее посевная площадь сводится к нулю [1].

Все это обуславливает необходимость изучения имеющихся сортов, стабильно формирующих урожай высокого качества, способных противостоять абиотическим стрессорам и эффективно использовать антропогенные и природные ресурсы в различных регионах РФ.

Цель исследований – провести сравнительную оценку кормовой продуктивности сортов чины посевной отечественной селекции в двух регионах России, выявить ценные генотипы с высокой экологической пластичностью к климатическим факторам и стабильной урожайностью.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в различных природно-территориальных условиях: на учебно-опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ (г. Омск) и на базе ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (г. Саратов) (2022–2023 гг.). Основные факторы среды были различными не только в расчете регионов, но и по годам.

Так, в 2022 году отмечены слабозасушливые условия периода вегетации чины посевной в Омской области (ГТК = 1,02) и засушливые в Саратовской области (ГТК = 0,64). В 2023 году ситуация в Саратовском регионе не изменилась (ГТК = 0,69), а вот в Омском выпало незначительное число осадков, при этом температура воздуха достигала 35–38 °С, что привело к засушливости климата (ГТК = 0,83). На опытном участке ФГБОУ ВО Омский ГАУ лугово-черноземная среднемощная (45 см) малогумусная (3,95 % гумуса) среднесуглинистая (35 % физической глины) почва, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» – чернозем южный малогумусный (3,80 % гумуса) среднемощный (42 см) тяжелосуглинистый (43 % физической глины). На обоих участках почва комковатая (агрегаты мельче 0,25 мм – 18 %) с содержанием агрегатов 0,25–10 мм после сухого рассева – 69 %, плотным типом сложения ($d_v = 1,19 \text{ г/см}^3$) и нейтральной реакцией почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{луг.-черн.}} = 7,1$; $\text{pH}_{\text{черн.лжн.}} = 7,0$). Предшественник – зерновые культуры. При проведении исследований придерживались одинаковой методики: посев в первой декаде мая, норма высева – 700 тыс. шт. зерен на 1 га, площадь делянки – 5 м², глубина заделки семян – 5 см. Изучали четыре сорта чины посевной селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»: Рачейка, Мраморная, Елена и Жемчужина. Уборка проведена в межфазный период «полное цветение – образование бобов» с дальнейшим анализом в лабораторных условиях продуктивности растений и качества зеленой массы. Фенологические наблюдения и учеты проведены в соответствии с действующими методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Питательность зеленой массы чины посевной рассчитывалась по методике государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт кормов им. В. Р. Вильямса» (ГНУ «ВНИИ кормов»). Статистическая обработка полученных результатов полевых и лабораторных исследований проведена по методике Б. А. Доспехова. Для оценки достоверности различий признаков применили стандартную методику наименьшей существенной разницы при 5-процентном уровне значимости (НСР_{05}) с использованием программы STATISTICA v. 10.0 (StatSoft, Inc., США). Расчет статистических параметров проведен в соответствии с принятыми формулами: стрессоустойчивость сорта: значения признака ($\text{min} - \text{max}$), генетическая гибкость: значения признака ($\text{min} + \text{max}$) / 2, размах урожайности (d): ($\text{max} - \text{min}$) / $\text{max} * 100 \%$. Двухфакторный дисперсионный анализ проведен в программе STATISTICA v. 10.0 (StatSoft, Inc., США).

Таблица 1

Продолжительность межфазных периодов (в среднем за два года), суток

Сорт	Всходы – цветение		Цветение – созревание		Вегетационный период	
	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов
Рачейка	33	39	45	44	78	83
Мраморная	35	40	50	45	85	85
Жемчужина	37	41	46	47	83	88
Елена	30	39	45	45	75	84
НСР ₀₅	1,9	1,0	0,8	0,9	2,8	0,8
Доля фактора А, %	65,8					
Доля фактора В, %	19,8					
Доля взаимодействия АВ, %	13,2					
Случайное отклонение, %	1,2					

Table 1

Duration of interphase periods (average over two years), days

Variety	Shoots – flowering		Flowering – ripening		Growing season	
	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov
<i>Racheyka</i>	33	39	45	44	78	83
<i>Mramornaya</i>	35	40	50	45	85	85
<i>Zhemchuzhina</i>	37	41	46	47	83	88
<i>Elena</i>	30	39	45	45	75	84
<i>LSD₀₅</i>	1.9	1.0	0.8	0.9	2.8	0.8
Share of factor A, %	65.8					
Share of factor B, %	19.8					
Interaction share AB, %	13.2					
Random deviation, %	1.2					

Результаты (Results)

Кормовые и пищевые направления использования чины в первую очередь подразумевают ее выращивание на семена (зерно). Однако чина может служить источником сырья для заготовки зеленых кормов, сена, сенажа и силоса как в чистом виде, так и в смеси с зерновыми культурами [5].

Важными характеристиками адаптации вида или сорта к конкретным условиям являются полевая всхожесть семян, срок формирования вегетативной массы к укосной спелости и сохранность травостоя в процессе вегетации [14].

Как показали исследования, проведенные в условиях Омской и Саратовской областей в 2022–2023 гг., на продолжительность межфазных периодов и в целом вегетационного периода влияют не только почвенные и погодные условия, но и биологические особенности сорта.

Так, в условиях Омской области период от всходов до цветения в среднем за два года изменялся в пределах от 30 (сорт Елена) до 37 (сорт Жемчужина) суток (таблица 1). У сортов Мраморная и Рачейка продолжительность этого периода составила 33 и 35 суток соответственно.

В условиях Саратовской области не отмечено значительного варьирования продолжительности межфазного периода «всходы – цветение». Значение показателя по сортам составило 39 (Рачейка) и

41 (Жемчужина) суток. Необходимо отметить, что в условиях Омской области промежуток между полными всходами и цветением у каждого сорта оказался менее продолжительным, чем в Саратовской. Так, разница в этом показателе у сорта Рачейка составила 6 суток, Мраморная – 5 суток, Жемчужина – 4 суток, Елена – 9 суток.

Период от цветения до созревания семян в среднем за два года в Омской области составил 45–50 суток. Более длительный отмечался у сорта Мраморная, у остальных сортов разница незначительная. В Саратовской области этот период изменялся в пределах от 44 до 47 суток. При этом значительная разница между регионами отмечена у сорта Мраморная – 5 суток.

В целом вегетационный период в среднем за два года в Омской области составил от 75 (у сорта Елена) до 85 (у сорта Мраморная) суток. В Саратовской области в зависимости от сорта период вегетации чины посевной длился от 83 (у сорта Рачейка) до 88 (Жемчужина) суток.

В годы проведения исследований, помимо сортовых особенностей, на продолжительность межфазных периодов роста сортов чины посевной также оказывали существенное влияние погодные условия. В Омском регионе продолжительность периода от всходов до цветения в 2022 году составила 33–38 суток, а в острозасушливых условиях

2023 года – 27–31 сутки. Это связано с тем, что на ранних этапах вегетации 2023 года (май) осадков выпало в два раза меньше нормы (7 мм) при среднесуточной температуре на 1,5 °С выше среднеголетних данных. В июне ситуация не изменилась, и сумма осадков составила всего 64 % от среднего многолетнего значения, а температура воздуха отмечена на 8,6 °С выше нормы. В Саратовской области погодные условия в годы исследований были благоприятнее для роста и развития растений. Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период формирования вегетативной массы были близки к среднеголетним данным. Поэтому в этом регионе продолжительность периода от всходов до цветения изменялась в 2022 году в пределах от 36 до 39 суток, в 2023 году – от 41 до 44 суток.

Различалась по годам и продолжительность вегетационного периода сортов чины посевной. Так, в Омской области период от всходов до созревания в 2022 году составил 79–93 суток (с максимальным показателем у сорта Мраморная), в 2023 году – 70–80 суток (максимальный показатель отмечен у сорта Жемчужина). В Саратовской области разница в этом показателе не была настолько значительной: в 2022 году – 81–86 суток, в 2023 году – 84–90 суток. Наибольшая продолжительность вегетационного периода в годы исследований отмечена у сорта Жемчужина – 86 и 90 суток соответственно.

Результаты исследований указывают на то, что на продолжительность вегетационного периода чины посевной существенное влияние оказывают условия произрастания (фактор А) – 65,8 %. Доля генотипического воздействия сорта (фактор В) составила 19,8 %, а взаимодействия обоих факторов (АВ) – 13,2 %.

В итоге региональные почвенно-климатические особенности в период проведения исследований повлияли не только на рост и развитие растений, но и на урожайность зеленой массы сортов чины посевной.

Так как в Омской области метеорологические условия оказались абсолютно разными в 2022–2023 гг., то и урожайность зеленой массы по годам значительно отличалась. В 2022 году высокое значение показателя отмечено у сорта Елена – 20,0 т/га (таблица 2). Достоверная прибавка по сравнению с другими сортами достигала 33–83 %. Наименьшую урожайность сформировал сорт Жемчужина – 10,9 т/га. В 2023 году величина изученного признака находилась в пределах от 8,6 до 9,7 т/га, при этом сорта Рачейка, Жемчужина и Елена показали уровень урожайности в пределах ошибки опыта, а у сорта Мраморная урожайность зеленой массы была на 12–13 % достоверно ниже. В среднем за два года максимальная урожайность зеленой массы отмечена у сорта Елена – 14,8 т/га, что на 20–44 % выше в сравнении с остальными сортами. Низкий уровень показателя в период 2022–2023 гг. отмечен у сортов Жемчужина и Мраморная – 10,3 и 10,7 т/га соответственно.

Таблица 2

Урожайность зеленой массы, т/га

Сорт	Омск			Саратов		
	2022	2023	Среднее	2022	2023	Среднее
Рачейка	15,0	9,6	12,3	6,8	5,0	5,9
Мраморная	12,8	8,6	10,7	13,5	15,8	14,6
Жемчужина	10,9	9,7	10,3	13,0	17,0	15,0
Елена	20,0	9,6	14,8	14,1	15,9	15,0
НСР ₀₅	4,3	1,1	2,4	1,7	1,8	2,1
Доля фактора А, %	54,2					
Доля фактора В, %	30,3					
Доля взаимодействия АВ, %	14,7					
Случайное отклонение, %	0,8					

Table 2

Productivity of green mass, t/ha

Variety	Omsk			Saratov		
	2022	2023	Average	2022	2023	Average
Racheyka	15.0	9.6	12.3	6.8	5.0	5.9
Mramornaya	12.8	8.6	10.7	13.5	15.8	14.6
Zhemchuzhina	10.9	9.7	10.3	13.0	17.0	15.0
Elena	20.0	9.6	14.8	14.1	15.9	15.0
LSD ₀₅	4.3	1.1	2.4	1.7	1.8	2.1
Share of factor A, %	54.2					
Share of factor B, %	30.3					
Interaction share AB, %	14.7					
Random deviation, %	0.8					

В условиях Саратовской области по сравнению с Омской существенной разницы в урожайности сортов чины посевной по годам исследований не наблюдалось.

Так, в 2022 году урожайность зеленой массы сортов чины посевной изменялась в пределах от 6,8 до 14,1 т/га. У сортов Мраморная, Жемчужина и Елена значение показателя находилось на одинаковом уровне (наибольшее отмечено у сорта Елена). Урожайность сорта Рачейка была практически в два раза меньше, чем у других сортов (6,8 т/га). Аналогичная тенденция прослеживалась и в 2023 году. Урожайность зеленой массы сорта Рачейка более чем в три раза уступала другим сортам (5,0 т/га). Урожайность сортов Мраморная, Жемчужина и Елена изменялась в пределах от 15,8 до 17,0 т/га, при этом разница находилась в пределах ошибки опыта.

В среднем за два года три сорта обеспечили максимальную урожайность – Мраморная, Жемчужина и Елена. При этом уровень урожайности зеленой массы составлял 14,6–15,0 т/га.

Проведенный дисперсионный анализ установил преимущественное влияние экологических условий на уровень урожайности зеленой массы чины посевной (фактор А) – 54,2 %, доля генотипа (фактор В) – 30,3 %, взаимодействия факторов (АВ) – 14,7 %.

При оценке кормовых культур важно знать не только их урожайность, но и питательную ценность, которая определяется наличием в них протеина, его составом, а также жира, клетчатки, золы и безазотистых экстрактивных веществ [11].

Анализ результатов проведенных исследований показал, что в среднем за два года в Омском регионе содержание сырого протеина в зеленой массе сортов чины посевной изменялось в пределах от 22,8 до 23,8 % (таблица 3). Высокое содержание отмечалось у сортов Рачейка и Елена (по 23,8 %). Меньше сырого протеина накопил сорт Мраморная (22,8 %). Необходимо отметить, что в зависимости от погодных условий в годы исследований содержание протеина в зеленой массе чины посевной было неодинаковым. Так, в острозасушливом 2023 году этот показатель варьировал в пределах 21,9–23,2 %. В 2022 году содержание протеина в зависимости от сорта составляло 23,6–24,9 %.

В Саратовской области наблюдалась обратная тенденция. Если в 2022 году содержание протеина находилось в пределах 24,3–26,3 %, то в 2023 году этот показатель вырос до 25,5–28,2 %. В среднем за два года максимальное содержание сырого протеина отмечено у сорта Мраморная – 27,3 %.

Максимальное накопление сырого жира в среднем за два года в Омской области отмечено у сортов Рачейка и Елена – 3,9 %. У сортов Жемчужина и Мраморная этот показатель находился на уровне 2,9 и 3,1 %. В Саратовской области максимальным

накоплением жира отличался сорт Елена – 4,4 %, что на 0,8–1,5 % больше, чем у других сортов.

По содержанию сырой клетчатки особых отличий между регионами не наблюдалось. В Омской области в среднем за два года этот показатель изменялся в пределах от 21,4 % (у сорта Мраморная) до 25,8 % (у сорта Елена), в Саратовской области доля сырой клетчатки в зеленой массе находилась на уровне 22,7–30,3 % с максимальным значением у сорта Елена.

Доля сырой золы, содержащейся в зеленой массе чины посевной, в среднем за два года в Омской области в зависимости от сорта существенно не различалась и составляла 8,2–8,8 %. В Саратовской области разница в накоплении сырой золы в зависимости от сорта достигала 1,1–1,9 % с максимальной у сорта Елена (9,3 %) и наименьшей у сорта Рачейка (7,4 %).

Анализ накопления безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) показал, что в условиях Сибирского региона их накапливается больше, чем в Саратовской области. В среднем за два года в Омской области этот показатель находился на уровне 38,1–44,3 %. Максимальное значение отмечено у сорта Мраморная, минимальное – у сорта Елена. В Саратовской области доля БЭВ в зависимости от сорта варьировала от 31,3 % (у сорта Елена) до 39,5 % (у сорта Мраморная). Закономерности накопления БЭВ в зависимости от погодных условий в годы проведения исследований в обоих регионах выявлено не было.

Согласно дисперсионному анализу, почвенно-климатические условия незначительно влияют на варьирование параметров биохимического состава (фактор А) – 19,8 %. Основную роль играют генотипические характеристики сорта (фактор В) – 62,1 %. Комплексное воздействие факторов (АВ) составило 17,0 %.

Ценность кормовых растений заключается не только в максимальном сборе урожая, но и в их продуктивности [15]. Для составления рациона животных основными показателями являются содержание кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии в корме. Влажность сырья и содержание абсолютно сухого вещества в корме влияют на общий сбор этих элементов [16].

На основании биохимического анализа был проведен расчет продуктивности травостоя сортов чины посевной в двух регионах.

Исследования показали, что продуктивность зеленой массы зависит от влажности растений. Так, в условиях Омской области влажность зеленой массы в укосную спелость (фаза цветения) достигала в 2022 году 67,9–76,5 %, в 2023 году – 77,1–78,2 %. В Саратовской области в зависимости от года исследований она сильно не различалась – 81,5–83,0 %. Это повлияло на продуктивность сортов чины посевной.

Таблица 3
Биохимический состав зеленой массы (фаза цветения) чины посевной в зависимости от сорта (в среднем за два года), %

Сорт	Сырой протеин		Сырой жир		Сырая клетчатка		Сырая зола		БЭВ	
	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов
Рачейка	23,8	26,0	3,9	3,6	23,6	23,3	8,2	7,4	39,9	39,8
Мраморная	22,8	27,3	3,1	2,9	21,4	22,7	8,5	7,9	44,3	39,5
Жемчужина	23,3	26,4	2,9	3,4	24,6	23,7	8,8	8,2	40,4	38,4
Елена	23,8	24,9	3,9	4,4	25,8	30,3	8,4	9,3	38,1	31,3
НСР ₀₅	0,03	0,38	0,02	0,19	0,56	0,37	0,12	0,42	0,25	0,27
Доля фактора А, %	19,8									
Доля фактора В, %	62,1									
Доля взаимодействия АВ, %	17,0									
Случайное отклонение, %	1,4									

Table 3
Biochemical composition of green mass (flowering phase) of the sowing rank depending on the variety (average for two years), %

Variety	Crude protein		Crude fat		Crude fiber		Raw ash		BEV	
	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov
Racheyka	23.8	26.0	3.9	3.6	23.6	23.3	8.2	7.4	39.9	39.8
Mramornaya	22.8	27.3	3.1	2.9	21.4	22.7	8.5	7.9	44.3	39.5
Zhemchuzhina	23.3	26.4	2.9	3.4	24.6	23.7	8.8	8.2	40.4	38.4
Elena	23.8	24.9	3.9	4.4	25.8	30.3	8.4	9.3	38.1	31.3
LSD ₀₅	0.03	0.38	0.02	0.19	0.56	0.37	0.12	0.42	0.25	0.27
Share of factor A, %	19.8									
Share of factor B, %	62.1									
Interaction share AB, %	17.0									
Random deviation, %	1.4									

Максимальный сбор абсолютно сухого вещества в среднем за два года в Омской области отмечен у сорта Елена (3,6 т/га), достоверная прибавка по сравнению с другими сортами составила 24–44 % (таблица 4).

В Саратовской области сорта Мраморная, Жемчужина и Елена обеспечили сбор абсолютно сухого вещества на уровне 1,9–2,1 т/га, что находится в пределах ошибки опыта. Достоверно низким уровнем этого показателя отмечен сорт Рачейка – разница по сравнению с другими сортами составила 138–163 %.

Сбор кормовых единиц зависит от их содержания в единице абсолютно сухого вещества. Расчет показал, что в сортах, испытываемых в условиях южной лесостепи Омской области, в среднем за два года в одном килограмме абсолютно сухого вещества содержится от 0,71 (сорт Мраморная) до

0,75 (сорт Елена) кормовых единиц. В Саратовской области этот показатель достигал уровня 0,76–0,79 кормовых единиц. При этом максимальное содержание отмечалось у сорта Елена.

В результате этого наибольший сбор кормовых единиц в Омской области отмечался у сорта Елена – 2,7 т/га, что на 29–50 % больше, чем у других сортов. В Саратовской области достоверной разницы между сортами Мраморная, Жемчужина и Елена не наблюдалось: сбор кормовых единиц составил 2,5–2,8 т/га. Традиционно низким уровнем отметился сорт Рачейка – 0,8 т/га.

Аналогичная тенденция отмечалась и по сбору переваримого протеина в обоих регионах. В Омской области максимальный сбор обеспечил сорт Елена – 617 кг/га. В Саратовской области этот показатель изменялся в пределах от 187 (сорт Рачейка) до 532 (сорт Жемчужина) кг/га.

Таблица 4

Продуктивность зеленой массы чины посевной в зависимости от сорта (в среднем за два года)

Сорт	Абсолютно сухое вещество, т/га		Кормовые единицы, т/га		Переваримый протеин, кг/га		Обменная энергия, ГДж/га	
	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов	Омск	Саратов
Рачейка	2,8	1,0	2,1	0,8	480	187	22,6	8,2
Мраморная	2,5	2,5	1,8	1,9	410	491	20,6	20,5
Жемчужина	2,9	2,8	2,1	2,1	487	532	23,1	22,7
Елена	3,6	2,6	2,7	2,1	617	466	28,7	19,8
НСР ₀₅	0,5	0,4	0,5	0,9	114	111	4,2	3,1

Table 4

Productivity of green mass of sowing rank depending on the variety (average over two years)

Variety	Absolutely dry matter, t/ha		Feed units, t/ha		Digestible protein, kg/ha		Metabolic energy, GJ/ha	
	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov	Omsk	Saratov
Racheyka	2.8	1.0	2.1	0.8	480	187	22.6	8.2
Mramornaya	2.5	2.5	1.8	1.9	410	491	20.6	20.5
Zhemchuzhina	2.9	2.8	2.1	2.1	487	532	23.1	22.7
Elena	3.6	2.6	2.7	2.1	617	466	28.7	19.8
LSD ₀₅	0.5	0.4	0.5	0.9	114	111	4.2	3.1

Важным показателем питательности корма является обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином. В обоих регионах независимо от сорта этот показатель находился на высоком уровне. В Омской области на одну кормовую единицу приходилось 228–231 г переваримого протеина, в Саратовской – 221–258 г (при зоотехнической норме 95–110 г).

Важную, а иногда и решающую роль в кормлении животных играет содержание обменной энергии. Расчет показал, что по сбору обменной энергии результаты аналогичны сбору других элементов продуктивности. В Омской области максимальный сбор обменной энергии (28,7 ГДж/га) обеспечил сорт Елена. Прибавка по сравнению с другими сортами была достоверна. В Саратовской области сбор обменной энергии изменялся в пределах от 8,2 до 22,7 ГДж/га при отсутствии достоверной разницы между сортами Мраморная, Жемчужина и Елена.

При оценке сортов по интенсивности, экстенсивности и стабильности урожайности рассчитаны следующие показатели: коэффициент адекватности (B), коэффициент регрессии (bi), ошибка коэффициента регрессии (Sb), критерий значимости отклонения от 1 (t), стрессоустойчивость, генетическая гибкость сортов, размах урожайности (d) (таблица 5). Это позволило распределить сорта по определенным экологическим группам. Сорт Мраморная определен к экстенсивной форме с низкой фенотипической стабильностью. На это указывает низкое значение bi (коэффициент регрессии) = 0,63 и минимальный в сравнении с другими сортами размах урожайности (42,94 %). Сорт Жемчужина из-за высокой фенотипической стабильности относится ко второй группе. Он слабо реагирует на улучшение климатических условий ($bi = 1,05$) и показывает

низкие темпы снижения урожайности при ухудшении погодных факторов роста и развития (стрессоустойчивость составила –7,32 т/га).

Показавший себя как интенсивная форма с пониженной фенотипической стабильностью ($bi = 1,22$) сорт Елена входит в третью группу. Его особенность – в способности формировать значительную урожайность зеленой массы как при комфортных условиях развития, так и при неблагоприятных. Сорт Рачейка характеризуется как интенсивная форма ($bi = 1,11$) с высокой устойчивостью к лимитирующим факторам среды, показывающая и стабильно высокое значение урожайности при различных агроклиматических условиях.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Продолжительность вегетационного периода в условиях Омской области варьировала в пределах от 75 (сорт Елена) до 85 (Мраморная) суток, Саратовской – от 83 (Рачейка) до 85 (Мраморная) суток.

2. В среднем за два года урожайность зеленой массы изменялась в Омском регионе в пределах от 10,3 (Жемчужина) до 14,8 (Елена) т/га, в Саратовском – от 5,9 (Рачейка) до 15,0 (Жемчужина и Елена) т/га.

3. Содержание сырого протеина в зеленой массе варьировало в Омской области в пределах от 22,8 % (Мраморная) до 23,8 % (Рачейка и Елена), Саратовской – от 24,9 % (Елена) до 26,4 % (Жемчужина).

4. Максимальное накопление сырого жира в среднем за два года в Омской области отмечено у сортов Рачейка и Елена – 3,9 %. У сортов Жемчужина и Мраморная этот показатель находился на уровне 2,9 и 3,1% соответственно. В Саратовской области максимальным накоплением жира отличался сорт Елена – 4,4 %, что на 0,8–1,5 % больше, чем у других сортов.

Фенотипическая оценка сортов по интенсивности, экстенсивности и стабильности урожайности

Сорт	Коэффициент адекватности (B)	Коэффициент регрессии (bi)	Ошибка коэффициента регрессии (Sb)	Критерий значимости отклонения от 1 (t)	Стрессоустойчивость, т/га	Генетическая гибкость, т/га	Размах урожайности, %
Рачейка	0,88	1,11	0,18	0,63	-10,01	10,12	66,71
Мраморная	0,59	0,64	0,21	1,83	-7,21	12,21	42,94
Жемчужина	0,87	1,06	0,18	0,32	-7,32	13,35	45,56
Елена	0,85	1,22	0,22	1,02	-10,44	14,81	52,11

Table 5

Phenotypic assessment of varieties for intensity, extensiveness and stability of yield

Variety	Adequacy factor (B)	Regression coefficient (bi)	Regression coefficient error (Sb)	Criterion for the significance of deviation from 1 (t)	Stress resistance, t/ha	Genetic flexibility, t/ha	Yield range, %
Racheyka	0.88	1.11	0.18	0.63	-10.01	10.12	66.71
Mramornaya	0.59	0.64	0.21	1.83	-7.21	12.21	42.94
Zhemchuzhina	0.87	1.06	0.18	0.32	-7.32	13.35	45.56
Elena	0.85	1.22	0.22	1.02	-10.44	14.81	52.11

5. По содержанию сырой клетчатки особых отличий между регионами не наблюдалось. В Омской области в среднем за два года этот показатель изменялся в пределах от 21,4 % (у сорта Мраморная) до 25,8 % (у сорта Елена), в Саратовской области доля сырой клетчатки в зеленой массе находилась на уровне 22,7–30,3 % с максимальным значением у сорта Елена.

6. Доля сырой золы, содержащейся в зеленой массе чины посевной, в среднем за два года в Омской области в зависимости от сорта существенно не различалась и составляла 8,2–8,8 %. В Саратовской области разница в накоплении сырой золы в зависимости от сорта достигала 1,1–1,9 % с максимальной у сорта Елена (9,3 %) и с наименьшей у сорта Рачейка (7,4 %).

7. Максимальный сбор абсолютно сухого вещества в среднем за два года в Омской области отмечен у сорта Елена – 3,6 т/га, достоверная прибавка по сравнению с другими сортами составила 24–44 %. В Саратовской области сорта Мраморная, Жемчужина и Елена обеспечили сбор абсолютно сухого вещества на уровне 1,9–2,1 т/га, что находится в пределах ошибки опыта. Достоверно низким уровнем этого показателя отмечен сорт Рачейка – разница по сравнению с другими сортами составила 138–163 %.

8. Расчет показал, что в сортах, испытываемых в условиях южной лесостепи Омской области, в среднем за два года в 1 кг абсолютно сухого вещества содержится от 0,71 (сорт Мраморная) до 0,75

(сорт Елена) кормовых единиц. В Саратовской области этот показатель достигал уровня 0,76–0,79 кормовых единиц. При этом максимальное содержание отмечалось у сорта Елена.

9. Наибольший сбор кормовых единиц в Омской области отмечался у сорта Елена – 2,7 т/га, что на 29–50 % больше, чем у других сортов. В Саратовской области достоверной разницы между сортами Мраморная, Жемчужина и Елена не наблюдалось – сбор кормовых единиц составил 2,5–2,8 т/га. Традиционно низким уровнем отметился сорт Рачейка – 0,8 т/га.

10. В Омской области максимальный сбор переваримого протеина обеспечил сорт Елена – 617 кг/га. В Саратовской области этот показатель изменялся в пределах от 187 (сорт Рачейка) до 532 (сорт Жемчужина) кг/га.

11. Условия произрастания оказывают существенное влияние на изменчивость продолжительности вегетационного периода – 65,8 % и уровень урожайности зеленой массы чины посевной – 54,2 %. Варьирование параметров биохимического состава в значительной степени обусловлено генотипическими особенностями сорта – 62,1 %.

12. Оценка сортов по показателям адаптивности позволила распределить их по группам: 1 – экстенсивная форма с очень низкой фенотипической стабильностью (Мраморная); 2 – форма с высокой фенотипической стабильностью (Жемчужина); 3 – интенсивная форма с пониженной фенотипической стабильностью (Елена); 4 – интенсивная фенотипически высокостабильная форма (Рачейка).

Библиографический список

1. Зайцев С. А., Башинская О. С., Волков Д. П. [и др.] Эколого-географическое испытание чины посевной // Успехи современного естествознания. 2023. № 2. С. 7–12. DOI: 10.17513/use.37991.
2. Донская М. В., Донской М. М., Наумкин В. П. Создание и оценка селекционного материала чины посевной в условиях северной части ЦЧР // Биология в сельском хозяйстве. 2019. № 1 (22). С. 18–26.
3. Мусаев М. А., Магомедова А. А., Мусаева З. М. Сравнительная продуктивность сортов чины посевной в условиях предгорной провинции Республики Дагестан // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 3 (101). С. 64–73. DOI: 10.35330/1991-663-2021-3-101-64-73.
4. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. [и др.] Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
5. Ерохина А. В., Бычкова В. В., Светлов В. В. [и др.] Использование чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) как компонента комбинированных кормов для цыплят-бройлеров // Эффективное животноводство. 2022. № 4 (179). С. 62–64. DOI: 10.24412/cl-33489-2022-4-62-64.
6. Solovyeva A. E., Shelenga T. V., Shavarda A. L., et al. Comparative analysis of wild and cultivated *Lathyrus* L. spp. according to their primary and secondary metabolite contents // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23, No. 6. Pp. 37–44. DOI: 10.18699/VJ19.539.
7. Зайцев С. А., Волков Д. П., Матюшин П. А. [и др.] Изучение коллекционного материала чины посевной в условиях степной зоны Нижнего Поволжья // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 19–25. DOI: 10.17513/use.37819.
8. Крылова Е. А., Хлесткина Е. К., Бурляева М. О. [и др.] Детерминантный характер роста зернобобовых культур: роль в доместикации и селекции, генетический контроль // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141.
9. Ногаев В. О. Зернобобовые культуры на мировом рынке // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2020. С. 74–76.
10. Донской М. М., Донская М. В., Бобков С. В. [и др.] Биохимический состав семян чины посевной // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 1 (29). С. 70–78. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11075
11. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 5–14. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_5.
12. Зотиков В. И., Вилоннов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
13. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A., et al. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security. ISC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2022. Vol. 372. Pp. 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.
14. Возиян В. И., Якобуца М. Д., Авздэний Л. П. Селекционные достижения в создании новых сортов зернобобовых культур в НИИПК «Селекция» Республики Молдова // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 3 (31). С. 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112.
15. Вишнякова М. А., Александрова Т. Г., Буравцева Т. В. [и др.] Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых ВИР и его использование в отечественной селекции (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180, № 2. С. 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123.
16. Куленцан А. Л., Марчук А. Л. Исследование и анализ влияния эффективности производства зерновых и зернобобовых культур // Синергия Наук. 2019. № 42. С. 113–122.

Об авторах:

Татьяна Владимировна Маракаева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия; ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932. E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Вячеслав Викторович Христич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия; ORCID 0009-0007-1199-2876, AuthorID 468110

Сергей Александрович Зайцев, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия; ORCID 0000-0002-6829-1970, AuthorID 882911; +7-917-314-22-72

References

1. Zaytsev S. A., Bashinskaya O. S., Volkov D. P., et al. Ecological and geographical testing of the seed. *Advances in Current Natural Sciences*. 2023; 2: 7–12. DOI: 10.17513/use.37991. (In Russ.)
2. Donskaya M. V., Donskoy M. M., Naumkin V. P. Creation and evaluation of breeding material of grass pea in the conditions of the northern part of the central black earth region. *Biology in Agricultural*. 2019; 1 (22): 18–26. (In Russ.)
3. Musaev M. A., Magomedova A. A., Musaeva Z. M. Comparative efficiency of varieties of the seeding lathyrus in the conditions of the foothill province of Dagestan Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2021; 3 (101): 64–73. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-64-73. (In Russ.)
4. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V., et al. Development of production of leguminous and groat crops in Russia based on the use of selection achievements. *Legumes and Groat Crops*. 2020; 4 (36): 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198. (In Russ.)
5. Erokhina A. V., Bychkova V. V., Svetlov V. V., et al. Use of chickweed (*Lathyrus sativus* L.) as a component of combined feed for broiler chickens. *Effektivnoe Zhivotnovodstvo*. 2022; 4 (179): 62–64. DOI: 10.24412/cl-33489-2022-4-62-64. (In Russ.)
6. Solovyeva A. E., Shelenga T. V., Shavarda A. L., et al. Comparative analysis of wild and cultivated *Lathyrus* L. spp. according to their primary and secondary metabolite contents. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019; 23 (6): 37–44. DOI: 10.18699/VJ19.539.
7. Zaytsev S. A., Volkov D. P., Matyushin P. A., et al. Study of collection material of grass pea in the lower Volga steppe zone. *Advances in Current Natural Sciences*. 2022; 5: 19–25. DOI: 10.17513/use.37819. (In Russ.)
8. Krylova E. A., Khlestkina E. K., Burlyaeva M. O., Vishnyakova M. A. Determinate growth habit of grain legumes: role in domestication and selection, genetic control. *Ecological Genetics*. 2020; 18 (1): 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141. (In Russ.)
9. Nogaev V. O. Leguminous crops on the world market. *Contribution of Young Scientists to Innovative Development of the Russian Agro-Industrial Complex: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists*. Penza, 2020; 74–76. (In Russ.)
10. Donskoy M. M., Donskaya M. V., Bobkov S. V., et al. Biochemical composition of seeds of Indian pea. *Legumes and Groat Crops*. 2019; 1 (29): 70–78. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11075. (In Russ.)
11. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I. Fodder production: state, problems and role of the Federal Williams Research Centre of Fodder Production and Agroecology in their solving. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2022; 36 (4): 5–14. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_5. (In Russ.)
12. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Present-day breeding of legumes and groat crops in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041. (In Russ.)
13. Polukhin A. A., Zotikov V. I., Zelenov A. A. Potential for Growth of Legume Production in the Orel Region. *Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security. ISC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham, 2022; 449–457. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_49.
14. Voziyan V. I., Yakobutsa M. D., Avedeniy L. P. Breeding achievements in creating new varieties of leguminous crops in the scientific research institute of field crops “Selektiya” of the Republic of Moldova. *Legumes and Groat Crops*. 2019; 3 (31): 42–46. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11112. (In Russ.)
15. Vishnyakova M. A., Aleksandrova T. G., Buravtseva T. V. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019; 180 (2): 109–123. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123. (In Russ.)
16. Kulentsan A. L., Marchuk A. L. Study and analysis the effect of the efficiency of production of grain and leguminous crops. *Sinergiya Nauk*. 2019; 42: 113–122. (In Russ.)

Authors' information:

Tatyana V. Marakaeva, candidate of agricultural sciences, associate professor, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia; ORCID 0000-0001-9384-8112, AuthorID 781932.

E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Vyacheslav V. Khristich, candidate of agricultural sciences, associate professor, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia; ORCID 0009-0007-1199-2876, AuthorID 468110

Sergey A. Zaytsev, candidate of agricultural sciences, chief researcher, Russian Research and Design and Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia; ORCID 0000-0002-6829-1970, AuthorID 882911

Влияние малых доз ионизирующего излучения при облучении *in vitro* на показатели крови

А. С. Федотова[✉], Е. Г. Турицына

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

[✉]E-mail: krasfas@mail.ru

Аннотация. Цель – определение степени влияния малых поглощенных доз ионизирующего излучения на биохимические показатели при облучении образцов периферической крови крупного рогатого скота *in vitro*. Для исследования проведен отбор проб крови у лактирующих коров, содержащихся под воздействием фоновой поглощенной дозы Красноярского края, с последующим облучением *in vitro* в дозах 5, 50, 500 мГр. **Методы.** Отбор проб периферической крови у кров осуществляли из хвостовой вены в вакуумные пробирки с активатором свертываемости, облучение образцов крови *in vitro* проводили на установке, укомплектованной источником Cs-137, биохимические исследования сыворотки крови проведены с использованием спектрофотометра «ПЭ-5400УФ». Гематологические показатели крови определялись по общепринятым методикам. **Результаты.** Ионизирующее излучение *in vitro* в дозах от 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр проб периферической крови крупного рогатого скота разнонаправленно влияет на гематологические показатели, что характеризуется волнообразными колебаниями показателей гемоглобина, сокращением содержания эритроцитов и снижением показателей СОЭ. Установлено, что однократное облучение проб периферической крови коров дозе 5 мГр снижало концентрацию бета-глобулинов и креатинина и не влияло на содержание общего белка и белковых фракций. При воздействии ионизирующего излучения в дозе 50 мГр в пробах крови снижались содержание общего белка, уровень бета-глобулинов, креатинина и не изменялось содержание альбуминов, альфа- и гамма-глобулинов. При облучении в дозе 500 мГр снижалось относительное содержание альфа-глобулинов, концентрация АЛТ и АСТ, не изменялось содержание креатинина, общего белка, альбуминов, бета- и гамма-глобулинов. Установлена стабильность щелочной фосфатазы, альбуминов и гамма-глобулинов к ионизирующему воздействию в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр. **Научная новизна.** Выявлена линейная зависимость концентрации альфа-глобулинов, АСТ и АЛТ от величины поглощенной дозы, определены цифровые значения коэффициентов аппроксимации, описывающие снижение биохимических показателей. Установлена обратная прямая линейная зависимость между устойчивостью креатинина и поглощенной дозой. **Практическая значимость.** Установленные цифровые значения коэффициентов аппроксимации альфа-глобулинов, АСТ и АЛТ могут быть использованы при реконструкции значений доз облучения в диапазоне 5–50 мГр.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, малые дозы, поглощенная доза, кровь, гематологические, биохимические показатели

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

Для цитирования: Федотова А. С., Турицына Е. Г. Влияние малых доз ионизирующего излучения при облучении *in vitro* на показатели крови // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1214–1224. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1214-1224>.

Дата поступления статьи: 29.02.2024, **дата рецензирования:** 23.06.2024, **дата принятия:** 22.07.2024.

Influence of low doses of ionizing radiation during in vitro irradiation on blood parameters

A. S. Fedotova[✉], E. G. Turitsyna

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

[✉]E-mail: krasfas@mail.ru

Abstract. The purpose is the determination of the degree of influence of small absorbed doses of ionizing radiation on biochemical and hematological parameters during irradiation of peripheral blood samples of cattle in vitro. For the work, blood samples were taken from lactating cows kept under the influence of the background absorbed dose in the Krasnoyarsk Territory, followed by in vitro irradiation at doses of 5, 50, 500 mGy. **Methods.** Peripheral blood was taken from blood vessels from the tail vein into vacuum tubes with a coagulation activator, in vitro irradiation of samples was carried out on an installation equipped with a Cs-137 source, biochemical studies of blood serum were carried out using a PE-5400UF spectrophotometer. Hematological blood parameters were determined according to generally accepted methods. **Results.** Ionizing radiation in vitro in doses of 5 mGy, 50 mGy and 500 mGy of peripheral blood samples of cattle affects hematological parameters in different directions, which is characterized by wave-like fluctuations in hemoglobin values, a decrease in the content of erythrocytes and a decrease in the erythrocyte sedimentation rate. It was found that a single irradiation of peripheral blood samples of cows at a dose of 5 mGy reduced the concentration of beta-globulins and creatinine and did not affect the content of total protein and protein fractions. When exposed to ionizing radiation at a dose of 50 mGy, the content of total protein, the level of beta-globulins, creatinine decreased in blood samples, and the content of albumins and alpha-, gamma-globulins did not change. When irradiated at a dose of 500 mGy, the relative content of alpha-globulins, the concentration of ALT and AST decreased, the content of creatinine, total protein, albumins and beta-, gamma-globulins did not change. The stability of alkaline phosphatase, albumins and gamma globulins to ionizing effects at doses of 5 mGy, 50 mGy and 500 mGy has been established. **Scientific novelty.** The linear dependence of the concentration of alpha-globulins, AST and ALT on the absorbed dose was revealed, the numerical values of the approximation coefficients describing the decrease in concentration and biochemical parameters were determined. The inverse direct linear relationship between creatinine stability and absorbed dose has been established. **Practical significance** is the established digital values of the approximation coefficients of alpha globulins, AST and ALT can be used in the reconstruction of radiation dose values in the range of 5–50 mGy.

Keywords: ionizing radiation, small doses, absorbed dose, blood, hematological, biochemical parameters

Acknowledgements. The research was carried out with the support of a grant from the Russian Science Foundation, project No. 23-26-10018, and the Krasnoyarsk Regional Science Foundation, “Predicting the response of farm animals to low-intensity radiation and the use of radioprotectors. Rapid bioluminescent screening of radiobiological effects.”

For citation: Fedotova A. S., Turitsyna E. G. Influence of low doses of ionizing radiation during in vitro irradiation on blood parameters. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1214–1224. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1214-1224>. (In Russ.)

Date of paper submission: 29.02.2024, **date of review:** 23.06.2024, **date of acceptance:** 22.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время вопрос оценки воздействия малых доз радиации на организм человека и животных интересует ученых разных научных специальностей: радиоэкологии, радиобиологии, медицины, ветеринарии. Соответственно докладу 57-й сессии научного комитета ООН по действию атомной радиации в 2010 году к малым дозам ионизирующего излучения для млекопитающих относятся дозы менее 500 мГр [1]. Согласно теории радиационного гормезиса, разработке которой посвящено множество научных работ, малые дозы радиации обладают сти-

мулирующим воздействием и демонстрируют положительные эффекты на физиологические показатели различных органов и систем организма [2–5].

Существует много работ по влиянию радиации на состояние организма, гематологические и биохимические показатели крови сельскохозяйственных и диких животных, находящихся в районах, загрязненной техногенными радионуклидами. А. Г. Кудяшовой определены изменчивость и гетерогенность значений антиоксидантного статуса в печени различных видов грызунов, находящихся на территориях 30-километровой зоны отчуждения Черно-

быльской АЭС. В работе установлено, что у мышей зарегистрирован более стабильный состав фосфолипидов печени. Рост гетерогенности ответных реакций и высокая вариабельность показателей является особенностью влияния малых доз радиации, что приводит к увеличению степени адаптации организмов [6].

Д. Н. Федотовым определена характеристика морфологических механизмов адаптаций эндокринных желез у енотовидной собаки, речной выдры, ежа белогрудого, обитающих на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, определены изменения в щитовидной железе, надпочечниках. Установленные изменения автор относит к адаптационным механизмам сохранения гомеостаза при действии малых доз радиации в зоне радиационного воздействия [7].

В работе С. А. Гераськина с соавторами обобщены результаты исследований по выявлению биологических эффектов воздействия ионизирующего излучения на организм продуктивных и непродуктивных животных в результате аварии на Чернобыльской АЭС [8].

В этих исследованиях сложно оценить поглощенную дозу, воздействующую на организм, так как авторы апеллируют плотностью загрязнения техногенных радионуклидов или их удельной активностью в компонентах агробиоценозов [9–11]. Подобные работы не оценивают значение поглощенной дозы, что усложняет интерпретацию результатов исследования и выявление зависимости «доза – эффект» в диапазоне малых доз.

Существуют работы по оценке влияния ионизирующего излучения на показатели крови при различных сценариях облучения. Много работ имеется по исследованию степени радиационного воздействия в малых дозах на систему крови лабораторных животных (мыши, крысы). Norio Takahashi с соавторами в работе на крысах, подвергнутых острому и хроническому, гамма-облучению в дозе до 1 Гр, установили связь между радиационным облучением в малых дозах и малой мощности дозы и нарушением кровообращения. Авторами выявлен порог формирования инсульта при дозе 0,1 Гр [12]. Б. П. Суриновым с соавторами определена иммунореактивность лабораторных мышей, подвергшихся воздействию при облучении в дозах 100 и 400 мГр, и мышей, экспонированных с летучими компонентами мочи облученных особей. Установлено иммуностимулирующее действие летучих компонентов необлученных мышей при дозе 100 мГр на особей, подвергшихся воздействию радиации [13]. А. Н. Старосельская изучила систему гемостаза у крыс при дозах 4 мГр, 8 мГр и 40 мГр. В результате было установлено, что при комбинации гамма-облучения в дозе 4 мГр и 8 мГр, гипероксии и анти-

ортостатическом вывешивании происходит адаптация на протяжении 3 суток. В системе гемостаза фиксировали гиперкоагуляционный синдром, что демонстрировало поражение организма крыс. Гамма-облучение в дозе 40 мГр, гипероксия и антиортостатическое вывешивание приводили показатели системы гемостаза к значениям нормы на третьи сутки [14].

В настоящее время достаточно работ, отражающих степень влияния ионизирующего излучения в дозах более 1 Гр, тогда как исследований по влиянию поглощенных доз менее 1 Гр на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных недостаточно. В оценке малых уровней ионизирующих излучений необходимы экспериментальные исследования и развитие теоретических представлений о механизмах их действия на все уровни организации организма.

А. С. Федотовой в 2021 году начаты исследования по оценке влияния малых поглощенных доз ионизирующего излучения при облучении *in vitro*. В результате установлено, что при облучении в диапазоне малых доз радиации в сыворотке крови крупного рогатого скота увеличивается содержание альфа-глобулинов и снижается число бета-глобулинов в зависимости от величины поглощенной дозы [15]. Позднее А. С. Федотовой с соавторами выявлено, что воздействие *in vitro* на образцы крови внешнего гамма-излучения в дозах 4 и 5 мГр не изменяет количество форменных элементов крови, но снижает фагоцитарную активность лейкоцитов. Поглощенная доза в 5 мГр уменьшает количество ферментов аспартатаминотрансфераз, относительное содержание общего белка и бета-глобулинов, увеличивает относительное содержание альфа-глобулинов в периферической крови [16].

В связи с ограниченным количеством исследований по влиянию сверхмалых поглощенных доз на гомеостаз организма сельскохозяйственных животных существуют трудности с прогнозированием развития эффектов малых поглощенных доз. Оценка степени влияния поглощенных доз радиации в диапазоне малых доз на организм сельскохозяйственных животных, определение стартовой дозы для запуска процесса изменения гематологических показателей крови продуктивных животных относятся к актуальным практическим и фундаментальным направлениям радиоэкологии.

Цель работы – определить степень влияния малых поглощенных доз ионизирующего излучения на биохимические показатели образцов периферической крови крупного рогатого при облучении *in vitro*.

В задачи исследования входили отбор проб крови у лактирующих коров, содержащихся под воздействием фоновой поглощенной дозы (0,92 мГр/год); облучение проб *in vitro* в дозах 5, 50, 500 мГр

на установке, укомплектованной источником Cs-137, с последующим определением биохимических показателей в образцах крови.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа выполнена в период с 2020 по 2022 годы на базе кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и научно-исследовательского испытательного центра Красноярского государственного аграрного университета.

Исследование проведено на образцах периферической крови лактирующих коров черно-пестрой породы, средний возраст животных составлял $57,6 \pm 3,55$ мес. Лактирующие коровы соматически здоровы, животные спокойные, аппетит умеренный, кожный покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, поверхностные лимфатические узлы (подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные) не увеличены, подвижны и безболезненны. Слизистые оболочки ротовой полости часто пигментированы, розового цвета. Жвачка присутствовала, сокращение рубца $2,87 \pm 0,83$ раза за 2 минуты. Температура тела находилась в пределах физиологической нормы и в среднем составила $38,34 \pm 0,76$ °C. Частота сердечных сокращений достигала $77 \pm 8,9$ уд/мин, частота дыхания – $17,6 \pm 6,5$ мин. Коровы имели упитанность 3,5–3,75 ед. по Э. Уайлдману. В соответствии с ГОСТ Р 54315-2011 животных можно отнести к первой категории упитанности.

Отбор проб периферической крови у крупного рогатого скота проводили в утренние часы из хвостовой вены в вакуумные пробирки с гепарином и активатором свертываемости. Облучение *in vitro* образцов периферической крови крупного рогатого скота в дозах 5, 50, 500 мГр проводили на установке, укомплектованной источником Cs-137. Облучение проб крови в дозах 5, 50 и 500 мГр осуществляли в разные дни (по 5 образцов в день исследования), после облучения определяли гематологические показатели и отделяли сыворотку крови для биохимических исследований. Всего исследовано 60 проб крови, 30 проб служили контролем и не подвергались облучению.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) измеряли по методике Панченкова. Определение форменных элементов крови проводили по стандартным методикам. Количество гемоглобина определяли унифицированным гемиглобинцианидным методом с помощью набора «Гемоглобин-Ольвекс».

Биохимические исследования сыворотки крови проведены с использованием спектрофотометра ПЭ-5400УФ. Содержание гемоглобина определяли на спектрофотометре с использованием набора «Гемоглобин-Ольвекс». Глюкозу оценивали энзимати-

ческим колориметрическим методом без депротенизации с использованием «Ольвекс Диагностикума». Резервную щелочность устанавливали по методу Раевского. Уровень щелочной фосфатазы исследован унифицированным методом с использованием комплекта реагентов «Щелочная фосфатаза-Витал». Содержание аспаргатаминотрансфераз (АСТ) и аланинаминотрансфераз (АЛТ) оценивали унифицированным методом Райтмана – Френкеля с применением набора реагентов «АСТ-Витал» и «АЛТ-Витал». Содержание креатинина регистрировали в реакции Яффе с депротенизацией с использованием комплекта реагентов «Креатинин-Витал». Концентрацию общего белка измеряли биуретовым методом с использованием комплекта «Общий белок-Витал». Содержание белковых фракций оценивали нефелометрическим методом. Статистическая обработка цифрового материала проведена методом вариационной и корреляционной статистики с помощью прикладных программ Microsoft Office Excel 2007. Различия параметров считали достоверными при $P \leq 0,05$.

Результаты (Results)

Гематологические показатели

Облучение проб крови обусловило изменение ряда гематологических показателей, таких как общее содержание гемоглобина, эритроцитов, СОЭ (таблица 1). При облучении крови в дозе 5 мГр уровень гемоглобина сократился до 16,05 г/л, или на 18,8 % относительно контроля; при дозе 50 мГр – на 32,69 г/л, или 38,4 % ($P < 0,05$). При однократном облучении *in vitro* образцов крови в дозе 500 мГр достоверных изменений в содержании гемоглобина не установлено.

Количество эритроцитов при облучении в дозе 5 мГр находилось в пределах контрольных значений, при дозе 50 мГр – уменьшилось на 12 %, при дозе 500 мГр – на 40 %, что указывало на развитие эритроцитопении при облучении в 500 мГр.

При облучении в дозе 5,0 мГр показатели СОЭ снижались на 0,27 мм/ч, или в 2,9 раза, при дозе 50 мГр – на 0,28 мм/ч, или в 3,1 раза относительно данных контроля ($P < 0,01$). Однократное гамма-облучение в дозе 500 мГр ускоряло СОЭ в 2,1 раза, или 0,21 мм/ч ($P < 0,05$). Динамика изменения СОЭ не имела зависимости «доза – эффект», но соответствовала теории нелинейной бимодальной зависимости изменений показателей крови при действии малых доз ионизирующего излучения.

Наибольшую устойчивость к воздействию малых доз при облучении *in vitro* показали лейкоциты, их количество в образцах крови при воздействии гамма-облучения в дозах 5,0 мГр, 50 мГр и 500 мГр находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось от контроля.

Таблица 1

Гематологические показатели образцов периферической крови коров при облучении in vitro

Показатели	Референсные значения [17]	Поглощенная доза, мГр			
		Контроль (n = 30)	5,0 (n = 10)	50 (n = 10)	500 (n = 10)
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	4,5–12	7,21 ± 0,4	7,16 ± 0,6	7,37 ± 0,5	7,63 ± 0,3
Гемоглобин, г/л	90–120	85,19 ± 3,7	69,14 ± 1,2***	52,50 ± 3,2***	83,82 ± 2,5
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5–7,5	5,25 ± 0,2	5,67 ± 0,4	4,61 ± 0,2*	3,15 ± 0,1***
СОЭ, мм/ч	0,6–0,8	0,41 ± 0,1	0,14 ± 0,03**	0,13 ± 0,02**	0,20 ± 0,1*

Примечание. Здесь и далее: * P < 0,05; ** P < 0,01, *** P < 0,001 по отношению к контролю.

Table 2

Hematological parameters of peripheral blood samples of cows during in vitro irradiation

Indicators	Reference data [17]	Absorbed dose, mGy			
		Control (n = 30)	5,0 (n = 10)	50 (n = 10)	500 (n = 10)
Leukocytes, ×10 ⁹ /l	4.5–12	7.21 ± 0.4	7.16 ± 0.6	7.37 ± 0.5	7.63 ± 0.3
Hemoglobin, g/l	90–120	85.19 ± 3.7	69.14 ± 1.2***	52.50 ± 3.2***	83.82 ± 2.5
Red blood cells, ×10 ¹² /l	5–7.5	5.25 ± 0.2	5.67 ± 0.4	4.61 ± 0.2*	3.15 ± 0.1***
ESR, mm/hour	0.6–0.8	0.41 ± 0.1	0.14 ± 0.03**	0.13 ± 0.02**	0.20 ± 0.1*

Note. Here and further: * P < 0.05; ** P < 0.01, *** P < 0.001 relative to control.

Таблица 2

Биохимические показатели сыворотки крови коров при облучении in vitro

Показатели	Референсные значения [18]	Поглощенная доза, мГр			
		Контроль (n = 30)	5,0 (n = 10)	50 (n = 10)	500 (n = 10)
Щелочная фосфатаза, нкат/л	355–1420	260,7 ± 24,7	332,5 ± 28,4	299,6 ± 28,4	356,5 ± 89,5
Мочевина, ммоль/л	2,8–8,8	3,6 ± 0,3	3,1 ± 0,3	3,0 ± 0,3	2,7 ± 0,2*
Общий белок, г/л	60–85	74,6 ± 2,2	69,8 ± 1,8	66,2 ± 1,3***	72,2 ± 2,5
Альбумин, %	35–50	39,9 ± 1,9	42,0 ± 2,1	42,8 ± 1,4	44,1 ± 1,7
Альфа-глобулины, %	10–20	16,2 ± 0,7	18,0 ± 1,4	19,9 ± 1,8	9,4 ± 1,0***
Бета-глобулины, %	10–18	18,3 ± 1,2	13,1 ± 1,4**	10,9 ± 0,7***	17,8 ± 0,9
Гамма-глобулины, %	25–40	25,7 ± 1,3	26,9 ± 1,7	26,4 ± 1,2	28,8 ± 2,1
АЛТ, нкат/л	115–583	200 ± 20	200 ± 40	100 ± 20	100 ± 10***
АСТ, нкат/л	750–1833	740 ± 90	890 ± 90	750 ± 60	50 ± 10***
Креатинин, мкмоль/л	88–177	172,4 ± 7,1	148,4 ± 2,8**	152,1 ± 2,1**	171,3 ± 4,3

Table 2

Biochemical parameters of blood serum of cows during in vitro irradiation

Indicators	Reference data [18]	Absorbed dose, mGy			
		Control (n = 30)	5,0 (n = 10)	50 (n = 10)	500 (n = 10)
Alkaline phosphatase, nkat/l	355–1420	260.7 ± 24.7	332.5 ± 28.4	299.6 ± 28.4	356.5 ± 89.5
Urea, mmol/l	2.8–8.8	3.6 ± 0.3	3.1 ± 0.3	3.0 ± 0.3	2.7 ± 0.2*
Total protein, g/l	60–85	74.6 ± 2.2	69.8 ± 1.8	66.2 ± 1.3***	72.2 ± 2.5
Albumin, %	35–50	39.9 ± 1.9	42.0 ± 2.1	42.8 ± 1.4	44.1 ± 1.7
Alpha globulins, %	10–20	16.2 ± 0.7	18.0 ± 1.4	19.9 ± 1.8	9.4 ± 1.0***
Beta globulins, %	10–18	18.3 ± 1.2	13.1 ± 1.4**	10.9 ± 0.7***	17.8 ± 0.9
Gamma globulins, %	25–40	25.7 ± 1.3	26.9 ± 1.7	26.4 ± 1.2	28.8 ± 2.1
ALT, nkat/l	115–583	0.2 ± 0.02	0.2 ± 0.04	0.1 ± 0.02	0.1 ± 0.01***
AST, nkat/l	750–1833	0.7 ± 0.1	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.1 ± 0.01***
Creatinine, μmol/l	88–177	172.4 ± 7.1	148.4 ± 2.8**	152.1 ± 2.1**	171.3 ± 4.3



Рис. 1. Частотное распределение концентрации креатинина в периферической крови при облучении *in vitro*

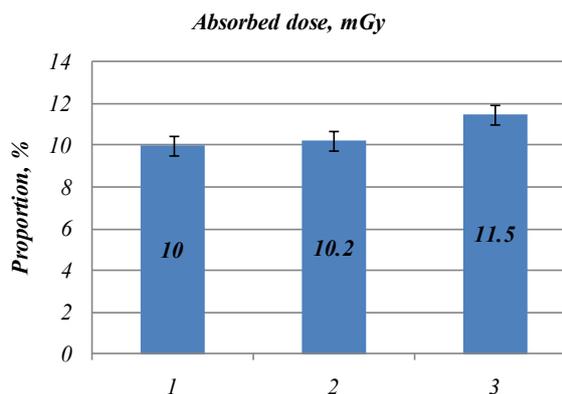


Fig.1. Frequency distribution of creatinine concentration in peripheral blood during *in vitro* irradiation

Биохимические показатели

При действии *in vitro* внешнего гамма-облучения на образцы периферической крови коров установлены достоверные изменения таких биохимических показателей, как уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспаргатаминотрансферазы (АСТ), креатинина и белковых фракций.

При воздействии дозы 500 мГр концентрация мочевины снижалась в 1,3 раза по сравнению с контрольными показателями ($P < 0,05$). Содержание щелочной фосфатазы при облучении в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр не изменялось относительно данных контроля.

Облучение в дозе 5 мГр не влияло на содержание общего белка. При дозе 50 мГр показатели снижались на 11 % относительно контрольных величин ($P < 0,001$). При воздействии ионизирующего излучения в дозе 500 мГр содержание общего белка находилось в одном диапазоне изменчивости с контрольными данными (таблица 2).

Относительное содержание альбуминов во всех пробах крови находилось в одном диапазоне изменчивости и статистически не отличалось. При воздействии ионизирующего излучения в дозах 5 и 50 мГр относительное содержание альфа-глобулинов в среднем составляло $19,08 \pm 1,63$ % и не отличалось от значений контроля. При облучении в дозе 500 мГр относительное содержание альфа-глобулинов снижалось в 1,7 раза относительно контрольных значений ($P < 0,001$).

При дозе 5,0 мГр регистрировали изменение концентрации бета-глобулинов: достоверное снижение содержания на 28,6 %, или в 1,3 раза относительно контрольных значений ($P < 0,01$). При поглощенных дозах 50 мГр уровень бета-глобулинов уменьшался в 1,7 раза по сравнению с данными контроля ($P < 0,001$). Увеличение дозы не приводило к изменению количества бета-глобулинов. При дозе 500 мГр содержание бета-глобулинов находилось в диапазоне 17,76–19,60 % и статистически не отличалось от контрольных значений. Установлена высокая степень резистентности гамма-глобули-

нов к ионизирующему воздействию. Количество гамма-глобулинов при облучении в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр не изменялось относительно контроля ($25,66 \pm 1,34$ %) и находилось в диапазоне от 21,84 % до 28,75 %.

Установлено, что фермент АЛТ является радиационно устойчивым. При воздействии ионизирующего излучения *in vitro* на пробы крови в дозах 5 мГр и 50 мГр концентрация АЛТ находилась в пределах контрольных значений и не имела статистически значимых различий. При воздействии дозы в 500 мГр величина АЛТ снижалась на 100 нкат/л, или на 66,7 % ($P < 0,001$) по сравнению с контрольными значениями (таблица 2).

Концентрация фермента АСТ при облучении проб крови в дозах 5,0 мГр и 50 мГр не изменялась и находилась в диапазоне значений контроля. При облучении проб крови в дозе 500 мГр установлено падение содержания АСТ на 690 нкат/л, или на 87,8 %. Динамика ферментов АЛТ и АСТ при воздействии субклинических доз ионизирующего излучения объясняется различной чувствительностью трансаминаз к внешнему гамма-излучению.

Концентрация креатинина понижалась при воздействии дозы 5,0 мГр на 13,9 %, или на 23,98 мкмоль/л относительно данных контроля ($P < 0,01$). Увеличение дозы ионизирующего излучения до 50 мГр понижало содержание креатинина в образцах крови на 11,8 %, или на 20,32 мкмоль/л. Дальнейшее увеличение дозы ионизирующего воздействия на образцы крови до 500 мГр не приводило к изменению креатинина в пробах, содержание фермента находилось в диапазоне 162,66–171,30 мкмоль/л и статистически не отличалось от контрольной величины.

На основании полученных данных проведен частотный анализ полученных результатов – установлено, что биохимические показатели имеют различную радиочувствительность. Степень снижения некоторых биохимических показателей при воздействии малых поглощенных доз имела линейную зависимость за исключением распределения показателей креатинина.

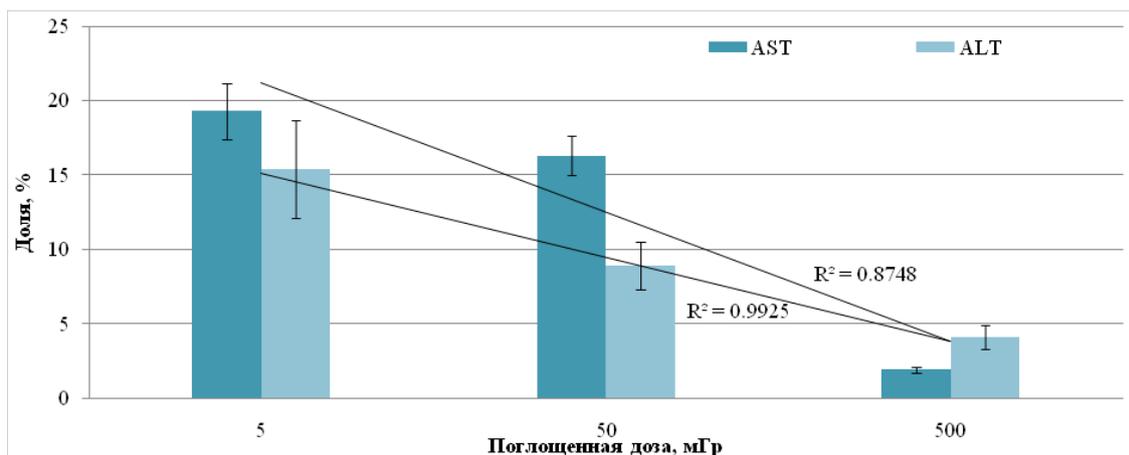


Рис. 2. Частотное распределение АСТ и АЛТ в периферической крови при облучении *in vitro*

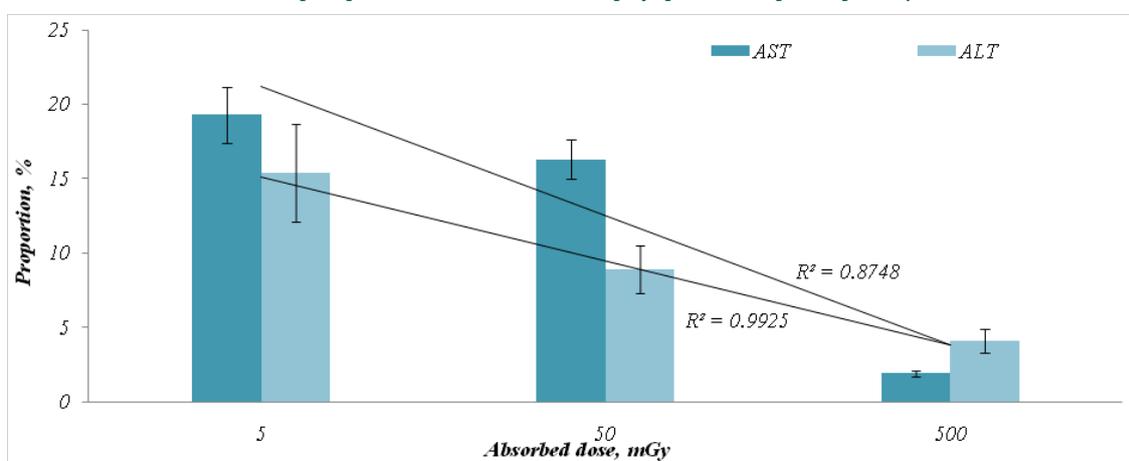


Fig. 2. Frequency distribution of AST and ALT in peripheral blood during *in vitro* irradiation

Динамика распределения значений креатинина имела экспоненциальный характер с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,85$. С увеличением дозы ионизирующего излучения количество креатинина в пробах крови медленно восстанавливалось до значений контроля (рис. 1).

Динамика распределения значений аспаратами-нотрансферазы и аланинаминотрансферазы в пробах периферической крови представлена на рис. 2.

Динамика распределения значений АСТ и АЛТ имела линейную зависимость. Установлено, что коэффициент аппроксимации АСТ – 0,87, для аланинаминотрансферазы $R^2 = 0,99$, это указывало на наличие сильной степени согласованности установленной зависимости с полученными результатами.

Динамика распределения альфа-глобулинов в периферической крови изображена на рис. 3.

Распределение концентрации альфа-глобулинов имело линейную зависимость с коэффициентом аппроксимации 0,59, что демонстрировало среднюю степень соответствия установленной зависимости с полученными данными.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В работе установлено, что ионизирующее излучение проб периферической крови крупного рогатого скота *in vitro* в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр

разнонаправленно влияет на гематологические показатели, что характеризуется волнообразными колебаниями показателей гемоглобина, сокращением содержания эритроцитов и снижением показателей СОЭ. Полученные данные полностью согласуются с результатами оценки влияния малых доз на организм коров в работе Т. С. Плотко с соавторами, которые регистрировали в периферической крови коров при влиянии малых доз ионизирующего излучения (15 мкР/ч) отсутствие изменений в количестве лейкоцитов [19].

Однократное внешнее гамма-облучение проб периферической крови коров в дозе 5 мГр не влияло на содержание общего белка, альбуминов, альфа-глобулинов, гамма-глобулинов, АСТ, АЛТ. В то же время при этой дозе уменьшалось содержание креатинина и бета-глобулинов. Полученные нами данные согласуются с результатами Л. М. Пивиной с соавторами, которые установили отсутствие изменений в концентрации общего белка и ферментов АЛТ и АСТ при малых дозах облучения [20]. На основании вышеизложенного можно заключить, что доза *in vitro* ионизирующего воздействия в 5 мГр являлась недостаточной для развития значительных радиобиологических эффектов в пробах крови.

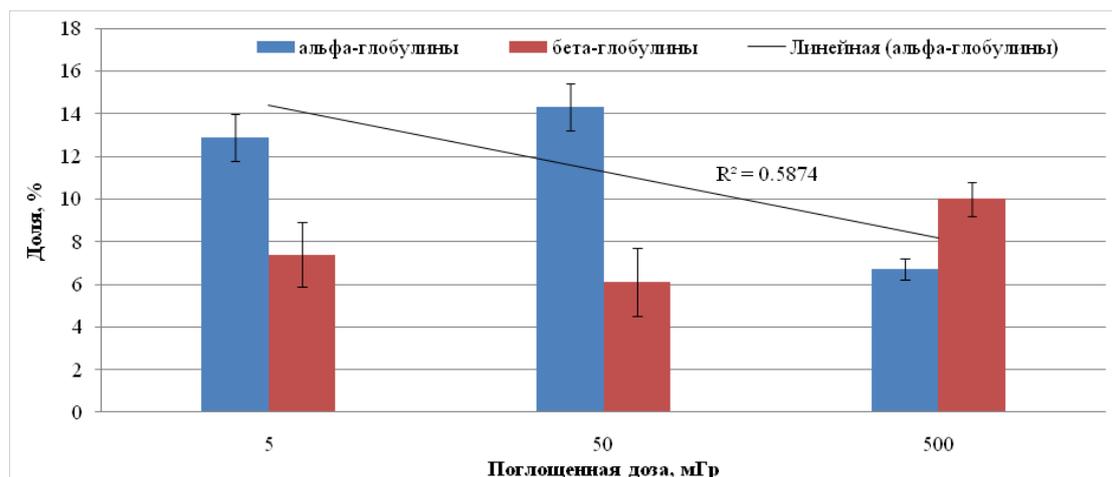


Рис. 3. Частотное распределение альфа-, бета-глобулинов в периферической крови коров при облучении *in vitro*

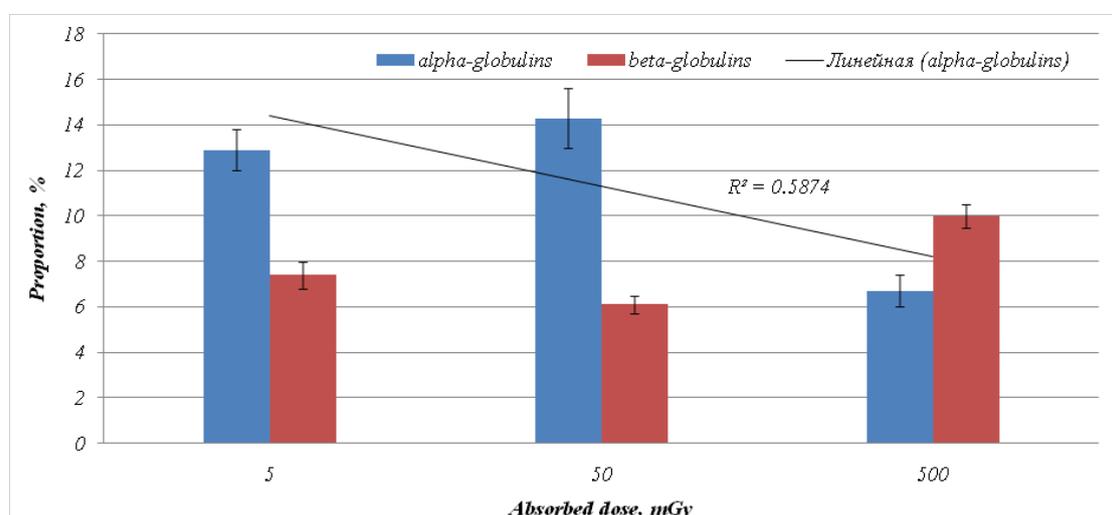


Fig. 3. Frequency distribution of alpha-, beta-globulins in the peripheral blood of cows during *in vitro* irradiation

При воздействии ионизирующего излучения в дозе 50 мГр в образцах крови снижалось содержание общего белка, что полностью согласуется с данными, полученными при облучении белых крыс в дозе 50 мГр [21]. При воздействии на организм ионизирующего излучения запускается каскадный процесс в клетках тканей. При этом одновременно идут процессы повреждения и репарации, поэтому для снижения концентрации общего белка необходима большая доза, чем при облучении *in vitro*. Нами установлено, что облучение проб периферической крови в дозе 50 мГр сокращало уровень бета-глобулинов, креатинина и не изменяло содержание альбуминов, альфа- и гамма-глобулинов.

При облучении в дозе 500 мГр снижались относительное содержание альфа-глобулинов, концентрация АЛТ и АСТ. А. Баурджан с соавторами в литературном обзоре приводят данные, что при облучении крыс в дозе 6 Гр увеличивалась концентрация АСТ, АЛТ и щелочной фосфатазы [21]. В настоящей работе установлено, что при воздействии дозы в 500 мГр в периферической крови не

изменялось содержание креатинина, общего белка, альбуминов, бета- и гамма-глобулинов.

Нами установлена высокая степень резистентности альбуминов и гамма-глобулинов к ионизирующему воздействию в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр. Выявлена резистентность альфа-глобулинов к поглощенным дозам 5 мГр и 50 мГр. Степень снижения концентрации креатинина и альфа-глобулинов в дальнейшем как один из показателей может быть использована при реконструкции значений доз облучения в диапазоне 5–50 мГр.

Содержание щелочной фосфатазы при облучении в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр не изменялось, что отличается от данных, полученных при облучении *in vitro* крови человека. А. А. Тимошевым и А. Н. Гребенюком установлено снижение уровня щелочной фосфатазы при воздействии дозы 50 мГр [22].

На основании модельного *in vitro* воздействия субклинических доз ионизирующего излучения на образцы периферической крови крупного рогатого скота установлена линейная зависимость неко-

торых биохимических показателей. Установлены цифровые значения коэффициента аппроксимации, описывающие снижение концентрации альфа-глобулинов ($R^2 = 0,59$), АСТ ($R^2 = 0,87$) и АЛТ ($R^2 = 0,99$). При анализе частотного распределения концентрации креатинина выявлена прямая линейная зависимость между устойчивостью фермента и поглощенной дозой ($R^2 = 0,85$).

Совокупность выявленных изменений гематологических и биохимических показателей периферической крови является информативной и может служить интегральным прогностическим показателем в оценке влияния малых доз на состояние кровяной системы организма животных.

Библиографический список

1. Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. New York: United Nations, 2011. 106 p.
2. Vaiserman A., Cuttler J. M., Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders // *Biogerontology*. 2021. No. 2 (2). Pp. 145–164. DOI: 10.1007/s10522-020-09908-5.
3. Чукова Ю. П. Радиационный гормезис: физический смысл и значимость для естествознания // *Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов международной научно-практической конференции*. Обнинск, 2020. С. 103–109.
4. Jargin S. V. Radiation safety and hormesis // *Front Public Health*. 2020. Vol. 8. Article number 278. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00278.
5. Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis // *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19, No. 8. Article number 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.
6. Кудяшева А. Г. Изменчивость антиоксидантного статуса мелких млекопитающих в условиях техногенного радиоактивного загрязнения среды обитания // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2019. Т. 21, № 2. С. 113–120.
7. Федотов Д. Н. Особенности морфологических механизмов адаптаций эндокринных желез млекопитающих на территории высокого радиоактивного загрязнения и снятия антропогенной нагрузки // *Ученые записки Учреждение образования «Витебская ордена „Знак Почета“ государственная академия ветеринарной медицины»*. 2022. Т. 58, вып. 2. С. 23–26. DOI: 10.52368/2078-0109-58-2-23-26.
8. Гераськин С. А., Фесенко С. В., Волкова П. Ю., Исамов Н. Н. Что мы узнали о биологических эффектах облучения в ходе 35-летнего анализа последствий аварии на Чернобыльской АЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021. Т. 61, № 3. С. 234–260.
9. Асташева Н. П., Ульяненко Л. Н. Влияние облучения и голодания на физиологические, клинические, биохимические показатели и воспроизводительные качества телок (экспериментальные исследования) // *Радиация и риск*. 2017. Т. 26, № 4. С. 132–144. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-4-132-144.
10. Федотова А. С. Влияние малых доз ионизирующего излучения на гематологические и иммунологические показатели периферической крови овец // *Наука и образование: опыт, проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции*. Красноярск: Издательство Красноярского ГАУ, 2019. Ч. II. С. 264–268.
11. Федотова А. С., Смолин С. Г., Колесников В. А. [и др.] Гематологические, иммунологические показатели крови крупного рогатого скота при техногенном загрязнении агробиотопов // *Теория и практика современной аграрной науки: сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием*. Новосибирск, 2020. С. 649–653.
12. Takahashi N., Misumi M., Murakami H., Niwa Y., Ohishi W., Inaba T., Nagamachi A., Suzuki G. Association between low doses of ionizing radiation, administered acutely or chronically, and time to onset of stroke in a rat model // *Journal of Radiation Research*. 2020. Vol. 61, No. 5. Pp. 666–673. DOI: 10.1093/jrr/rraa050.
13. Суринов Б. П., Исаева В. Г., Духова Н. Н., Шарецкий А. Н. Изменение иммуномодулирующих и аттрактивных свойств летучих выделений мышей после радиационного воздействия или индукции «эффекта свидетеля» // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021. Т. 61, № 1. С. 5–13. DOI: 10.31857/S0869803121010100.
14. Старосельская А. Н. Влияние на гемостаз малых доз ионизирующей радиации с индукторами окислительного стресса нелучевой природы // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2021. Т. 61, № 1. С. 25–31. DOI: 10.31857/S0869803120060211.
15. Федотова А. С. Изменение биохимических показателей крови при воздействии «in vitro» малых доз радиации // *Актуальные вопросы ветеринарных и сельскохозяйственных наук: материалы национальной (Всероссийской) научной конференции института ветеринарной медицины*. Челябинск, 2021. С. 81–86.

16. Федотова А. С., Жигарев А. А., Макарская Г. В. Радиобиологические эффекты в периферической крови крупного рогатого скота при поглощенных дозах 4 и 5 мГр // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета“ Государственная академия ветеринарной медицины». 2022. Т. 58, вып. 3. С. 65–73. DOI: 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73.

17. Амиров Д. Р., Тамимдаров Б. Ф., Шагеева А. Р. Клиническая гематология животных: учебное пособие. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2020. 134 с.

18. Васильева С. В., Конопатов Ю. В. Клиническая биохимия крупного рогатого скота: Учебное пособие. 2-е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2017. 188 с.

19. Плотко Т. С., Славов В. П., Дедух Н. И. Оценка естественной резистентности коров в зоне радиоактивного загрязнения Киевского полесья в отдаленный период после аварии на ЧАЭС // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2017. № 20–26. С. 226–233.

20. Пивина Л. М., Семенова Ю. М., Ерсин Т. Ж. [и др.] Оценка биохимических показателей, характеризующих состояние здоровья населения восточно-казахстанской области, подвергшегося радиационному воздействию вследствие испытаний ядерного оружия // Наука и здравоохранение. 2018. № 5, Т. 20. С. 105–114.

21. Бауржан А., Кайрханова Ы. О., Пак Л. [и др.] Изменение биохимических показателей крови экспериментальных животных после воздействия ионизирующего излучения // Медицинский журнал. Астана. 2020. № 1. С. 30–36.

22. Тимошевский А. А., Гребенюк А. Н. Использование иммунологических показателей периферической крови при проведении судебно-медицинской экспертизы лиц, подвергшихся радиационному воздействию // Судебно-медицинская экспертиза. 2013. № 1. С. 17–20.

Об авторах

Арина Сергеевна Федотова, кандидат биологических наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия; ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584.

E-mail: krasfas@mail.ru

Евгения Геннадьевна Турицына, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры анатомии, патологической анатомии и хирургии института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины, Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия; ORCID 0009-0003-5838-8722, AuthorID 455618. *E-mail: turitcyana@mail.ru*

References

1. Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. New York: United Nations, 2011. 106 p.

2. Vaiserman A., Cuttler J. M., Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. *Biogerontology*. 2021; 22 (2): 145–164. DOI: 10.1007/s10522-020-09908-5.

3. Chukova Yu. P. Radiation hormesis: physical meaning and significance for natural science. *Nuclear Physical Research and Technology in Agriculture: collection of reports of the international scientific and practical conference*. Obninsk, 2020. Pp. 103–109. (In Russ.)

4. Jargin S. V. Radiation safety and hormesis. *Front Public Health*. 2020; 8: 278. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00278.

5. Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19 (8): 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387.

6. Kudyasheva A. G. The antioxidant status variability of small mammals in conditions of technogenic radioactive pollution of the environment. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 21 (2): 113–120. (In Russ.)

7. Fedotov D. N. Features of the morphological mechanisms of adaptation of the endocrine glands in mammals in the territory of high radioactive contamination and removal of anthropogenic load. *Transactions of the educational establishment “Vitebsk the Order of “the Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine”*. 2022; 58 (2): 23–26. DOI: 10.52368/2078-0109-58-2-23-26. (In Russ.)

8. Geraskin S. A., Fesenko S. V., Volkova P. Yu., Isamov N. N. What we learned about the biological effects of radiation during a 35-year analysis of the consequences of the Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021; 61 (3): 234–260. (In Russ.)

9. Astasheva N. P., Ul'yanenko L. N. The influence of irradiation and starvation on physiological, clinical, biochemical parameters and reproductive qualities of heifers (experimental studies). *Radiation and Risk*. 2017; 26 (4): 132–144. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-4-132-144. (In Russ.)

10. Fedotova A. S. Influence of small dose of ionizing radiation on hematological and immunobiological parameters of peripheral blood sheep. *Science and Education: Experience, Problems and Development Prospects: materials of intern. scientific-practical conf. Krasnoyarsk: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2019. Vol. II. Pp. 264–268. (In Russ.)
11. Fedotova A. S., Smolin S. G., Kolesnikov V. A., et al. Hematological, immunobiological parameters of cattle blood under technogenic pollution of agrobiocenoses. *Theory and Practice of Modern Agricultural Science: collection of the III national (All-Russian) scientific conference with international participation*. Novosibirsk, 2020. Pp. 649–653. (In Russ.)
12. Takahashi N., Misumi M., Murakami H., Niwa Y., Ohishi W., Inaba T., Nagamachi A., Suzuki G. Association between low doses of ionizing radiation, administered acutely or chronically, and time to onset of stroke in a rat model. *Journal of Radiation Research*. 2020; 61 (5): 666–673. DOI: 10.1093/jrr/rraa050.
13. Surinov B. P., Isaeva V. G., Dukhova N. N., Sharetsky A. N. Changes in the immunomodulatory and attractive properties of mouse bat secretions after radiation exposure or induction of the “bystander effect”. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021; 61 (1): 5–13. DOI: 10.31857/S0869803121010100. (In Russ.)
14. Starosel'skaya A. N. Effect on hemostasis of low doses of ionizing radiation with inducers of oxidative stress of non-radiation nature. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021; 61 (1): 25–31. DOI: 10.31857/S0869803120060211. (In Russ.)
15. Fedotova A. S. Changes in biochemical blood parameters when exposed to “in vitro” low doses of radiation. *Current Issues of Veterinary and Agricultural Sciences: materials of the national (All-Russian) scientific conference of the Institute of Veterinary Medicine*. Chelyabinsk, 2021. Pp. 81–86. (In Russ.)
16. Fedotova A. S., Zhigarev A. A., Makarskaya G. V. Radiobiological effects in the peripheral blood of cattle at absorbed doses of 4 and 5 mGr. *Transactions of the educational establishment “Vitebsk the Order of “the Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine*. 2022; 58 (3): 65–73. DOI: 10.52368/2078-0109-2022-58-3-65-73. (In Russ.)
17. Amirov D. R., Tamimdarov B. F., Shageeva A. R. Clinical hematology of animals: a textbook. *Kazan: Information Technology Center KGAVM*, 2020. Pp. 126, 129–132. (In Russ.)
18. Vasilyeva S. V., Konopatov Yu. V. Clinical biochemistry of cattle: a textbook. 2nd ed., revised. *Saint Petersburg: Lan'*, 2017. 188 p. (In Russ.)
19. Plotko T. S., Slavov V. P., Dedukh N. I. Assessment of the natural resistance of cows in the radioactive contamination zone of Kyiv Polesye in the long-term period after the Chernobyl accident. *Current Problems of Intensive Development of Livestock Farming*. 2017; 20–26: 226–233. (In Russ.)
20. Pivina L. M., Semenova Yu. M., Ersin T. Zh., et al. Assessment of biochemical indicators characterizing the health status of the population of the East Kazakhstan region exposed to radiation as a result of nuclear weapons testing. *Science and Health*. 2018; 5 (20): 105–114. (In Russ.)
21. Baurzhan A., Kayrkhanova Y. O., Pak L., et al. Changes in biochemical parameters of the blood of experimental animals after exposure to ionizing radiation. *Medical Journal. Astana*. 2020; 1 (103): 30–36. (In Russ.)
22. Timoshevskiy A. A., Grebenyuk A. N. The use of immunological indicators of peripheral blood during forensic medical examination of persons exposed to radiation. *Forensic-Medical Examination*. 2013; 1: 17–20. (In Russ.)

Authors' information:

Arina S. Fedotova, candidate of biological sciences, associate professor at the department of internal non-infectious diseases, obstetrics and physiology of agricultural animals, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia; ORCID 0000-0003-1630-2444, AuthorID 708584. *E-mail: krasfas@mail.ru*

Evgeniya G. Turitsyna, doctor of veterinary sciences, professor of the department of anatomy, pathological anatomy and surgery of the institute of applied biotechnology and veterinary medicine, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia; ORCID 0009-0003-5838-8722; AuthorID 455618. *E-mail: turitcyna@mail.ru*

Оценка обеспеченности человеческим капиталом аграрного сектора экономики

Н. В. Мурашова, О. Ю. Маримакова✉

Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, Нижний Новгород, Россия

✉E-mail: marimakova.olga@mail.ru

Аннотация. Формирование и использование человеческого капитала в аграрной экономике должны соответствовать современным экономическим требованиям и уровню развития сельскохозяйственного производства. Оценка эффективности использования человеческих ресурсов и качества производимой продукции играет ключевую роль в адаптации к изменяющимся рыночным условиям. Поэтому важно постоянно укреплять кадровый потенциал для обеспечения оперативной реакции на вызовы рынка. При этом аграрное производство сегодня претерпевает изменения всех ключевых направлений. В данной статье проведен анализ обеспеченности и эффективности использования трудовых ресурсов сельскохозяйственных предприятий, основанный на статистических данных по Российской Федерации. В связи с этим **целью** данного научного исследования является анализ обеспеченности человеческим капиталом сельского хозяйства. В **задачи** исследования входит проведение качественной и количественной оценки трудовых ресурсов. **Методы.** Методологическая основа построена на общенаучных принципах системного подхода. Для анализа используются логический, факторный, сравнительный и стратегический методы, а также методы качественного исследования основных тенденций присутствия и использования человеческого капитала в сельском хозяйстве. **Результаты.** Проведен анализ формирования и использования человеческого капитала сельского хозяйства в его количественной и качественной оценке в Российской Федерации: динамики плотности сельского населения и численности рабочей силы, темпов роста заработной платы работников сельского хозяйства, приведена группировка занятых в сельском хозяйстве по уровню образования, полу и возрасту. **Научная новизна.** В результате исследования были получены новые теоретические и практические выводы, включающие в себя: 1) выявление и классификацию социально-экономических условий, которые способствуют или, наоборот, препятствуют эффективному использованию и сохранению человеческого капитала в аграрном секторе; 2) предложены комплексные схемы формирования человеческого капитала аграрной сферы с учетом внутренних и внешних факторов; 3) обоснована необходимость формирования комфортной социально-экономической среды сельских территорий; 4) подтверждена необходимость обеспечения особых мер поддержки для привлечения на сельские территории высококвалифицированных специалистов.

Ключевые слова: человеческий капитал, сельские территории, сельское хозяйство, трудовые ресурсы, аграрный сектор

Для цитирования: Мурашова Н. В., Маримакова О. Ю. Оценка обеспеченности человеческим капиталом аграрного сектора экономики // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1225–1238. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1225-1238>.

Дата поступления статьи: 23.10.2023, **дата рецензирования:** 24.06.2024, **дата принятия:** 22.07.2024.

Assessment of human capital provision in the agricultural sector of the economy

N. V. Murashova, O. Yu. Marimakova✉

Institute of Food Technology and Design – branch of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Nizhny Novgorod, Russia

✉E-mail: marimakova.olga@mail.ru

ЭКОНОМИКА

Abstract. The formation and use of human capital in the agricultural economy must meet modern economic requirements and the level of development of agricultural production. The assessment of the efficiency of the use of human resources and the quality of products plays a key role in adapting to changing market conditions. Therefore, it is important to constantly strengthen human resources to ensure a prompt response to market challenges. At the same time, agricultural production is currently undergoing changes in all key areas. This article analyzes the availability and efficiency of the use of agricultural enterprises' labor resources, based on statistical data for the Russian Federation. In this regard, **the purpose of this scientific study** is to analyze the availability of human capital in agriculture. **The objectives of the study** include carrying out a qualitative and quantitative assessment of labor resources. **Methods.** The methodological basis is based on the general scientific principles of a systematic approach. The analysis uses logical, factorial, comparative and strategic methods, as well as methods of qualitative research of the main trends in the presence and use of human capital in agriculture. **Results.** The analysis of the formation and use of human capital in agriculture in its quantitative and qualitative assessment in the Russian Federation is carried out: the dynamics of rural population density and the number of workers, the growth rate of wages of agricultural workers, the grouping of those employed in agriculture by level of education, gender and age is given. **Scientific novelty.** As a result of the research, new theoretical and practical conclusions were obtained, including: 1) identification and classification of socio-economic conditions that promote or, conversely, hinder the effective use and preservation of human capital in the agricultural sector; 2) comprehensive schemes for the formation of human capital in the agricultural sector are proposed, taking into account internal and external factors; 3) the need for the formation of a comfortable socio-economic environment in rural areas is justified; 4) confirmed the need to provide special support measures to attract highly qualified specialists to rural areas.

Keywords: human capital, rural territories, agriculture, labor resources, agricultural sector

For citation: Murashova N. V., Marimakova O. Yu. Assessment of human capital provision in the agricultural sector of the economy. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1225–1238. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1225-1238>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.10.2023, **date of review:** 24.06.2024, **date of acceptance:** 22.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Человеческий капитал, по мнению многих зарубежных и отечественных авторов, является ключевым фактором для развития экономики страны, всех ее отраслей и сфер [1]. Необходимо отметить, что без участия человеческого капитала в отдельной взятой организации невозможно ее успешное функционирование.

В процессе формирования социально-ориентированной рыночной экономики и перехода к интенсивному развитию производства возрастает роль проведения исследований в области формирования и использования человеческого капитала. Развитие интеллектуальных производительных сил и усиление влияния инновационных и информационных факторов способствуют формированию новой социально-экономической роли человека в современной экономике.

Отличительной особенностью трудовых ресурсов является наличие множества профессионально-квалификационных групп, формирующих численный состав предприятия и отдельных его структурных элементов. Сотруднику предоставляется возможность самостоятельного выбора места работы, условий труда и заработной платы, получения образования и повышения квалификации, а также увольнения по собственному желанию. [2].

Трудовые ресурсы – это ключевой компонент производственных и социально-экономических механизмов предприятий, поскольку без них невозможен процесс получения продукции, а, следовательно, и прибыли.

Следует отметить, что процесс формирования и использования трудовых ресурсов в разных отраслях экономики отличается. В некоторых отраслях, таких как информационные технологии, логистика

и транспорт, энергетика и другие, наблюдается рост количества занятых и уровня их квалификации и доходов. В сельском хозяйстве, несмотря на приоритетность данной отрасли как обеспечивающей продовольственную безопасность страны, ситуация обстоит иначе: происходит отток рабочей силы [3]. Поэтому первоочередной задачей государства как регулятора экономических процессов является восстановление и сохранение сельского хозяйства, в том числе и в процессе формирования и использования человеческого капитала.

Методология и методы исследования (Methods)

Теоретическую и методологическую основы исследования составляют труды отечественных и зарубежных исследователей, поднимавших вопросы формирования и использования человеческого капитала. В качестве информационной базы использованы материалы монографий, статей в научных журналах и сборниках, официальные статистические данные, материалы из информационно-аналитических порталов сети Интернет. Для выполнения поставленных задач использовались следующие подходы: исследование, сравнительный анализ, методы социально-экономического анализа, расчетно-аналитические методы и системный подход.

Результаты (Results)

Как было отмечено ранее, обеспеченность трудовыми ресурсами сельскохозяйственных предприятий является основным условием для их успешного функционирования. При этом прослеживается прямая зависимость между показателями обеспеченности трудовыми ресурсами аграрного сектора и тенденциями миграции населения на сельские территории [4]. Так, в начале XX века большую часть населения страны составляло именно сельское население (более 80 %) [5].

В настоящее время численность сельского населения имеет устоявшуюся тенденцию к сокращению. Следствием снижения показателя численности сельского населения является уменьшение числа сельских населенных пунктов и сокращение объектов социальной инфраструктуры.

По данным Всероссийской переписи населения 2020–2021 годов, численность городских жителей составляет 110 087,00 тыс. человек (74,8 %), жителей сельских территорий – 37 103,80 тыс. человек (25,2 %) [5].

Общероссийская тенденция наблюдается в большинстве субъектов Российской Федерации, административно-территориальные единицы сталкиваются с проблемой миграции населения сельских территорий в крупные города и городские агломерации и, соответственно, вынуждены искать новые источники трудовых ресурсов для находящихся на данных территориях предприятий агробизнеса [6].

В ходе нашего исследования был проанализирован процесс сокращения сельского населения в России (таблица 1). Так, с 2002 года сокращение сельского населения области составило 1633,9 тыс. человек, или 4,22 %, при этом средняя численность уменьшилась на 2,9 %.

Естественная убыль и миграционный отток сельского населения являются отрицательными факторами, влияющими на воспроизводство трудовых ресурсов на сельских территориях.

За последние 10 лет показатель рождаемости в сельских территориях снизился на 30 %, а показатель смертности сократился на 6 % (рис. 1).

Стоит отметить, что уровень снижения показателей смертности и рождаемости в сельских районах менее значительный по сравнению с городским населением. Согласно статистике, основными причинами смерти остаются заболевания сердечно-сосудистой системы: в 2022 году от них скончалось 933 986 человек. Причиной смерти 465 525 человек стал COVID-19. Также среди других причин смерти можно отметить злокачественные новообразования, болезни органов дыхания и пищеварения [7].

Одной из главных причин роста миграционного оттока является социально-экономическое положение сельских территорий, а именно отсутствие рабочих мест, достойной оплаты труда и социальной инфраструктуры сельских территорий. С другой стороны, сама тенденция миграционного отто-

Таблица 1
Динамика сельского расселения в России

Год	Численность сельского населения, тыс. чел.	Количество сельских населенных пунктов	Средняя численность, чел.
2002	38 737,7	155 289	249
2010	37 542,8	153 125	245
2021	37 103,8	153 157	242

Источник: <https://rosstat.gov.ru>.

Table 1
Dynamics of rural settlement in Russia

Year	Number of rural population, thousand people	Number of rural settlements	Average population, people
2002	38 737.7	155 289	249
2010	37 542.8	153 125	245
2021	37 103.8	153 157	242

Source: <https://rosstat.gov.ru>.

ка особенно остро оказывает негативное влияние на развитие производственной инфраструктуры в сельской местности [8].

Среди ключевых проблем, возникающих в результате процесса миграционного оттока сельского населения, авторы выделяют снижение квалификационного уровня трудовых ресурсов, и, как следствие, отсутствие возможности внедрения высокотехнологичных производственных процессов, требующих узкой специализации, и снижение качества производимой продукции [9].

В свою очередь, эти процессы приводят к снижению эффективности сельскохозяйственного производства: уменьшаются прибыль, объем выпускаемой продукции, заработная плата, что замедляет темпы роста самого предприятия и производственной и социальной инфраструктуры сельских территорий.

Таким образом, возникает взаимосвязь процессов привлечения соответствующих трудовых ресурсов в сельское хозяйство с тенденциями развития сельских территорий в целом [10].

Какие трудовые ресурсы нужны сельскому хозяйству? Ответ на этот вопрос является одним из ключевых. Чтобы ответить на него, необходимо провести анализ структуры занятости населения сельских территорий по возрастному и половому признаку и по уровню образования.

Для оценки изменения структуры занятых по возрастному признаку были проанализированы

данные Федеральной службы государственной статистики за 2012, 2017 и 2022 годы по Российской Федерации (рис. 2).

На основе данных представленной выше диаграммы можно сделать вывод о том, что преобладающий процент в общей структуре занятых в сельской местности занимает возрастная категория от 30 до 39 лет, а именно в 2012 г. – 25,8 %, в 2017 году – 27,9 %, в 2022 году – 30,00 %. Наименьший же удельный вес занимает возрастная категория 70 лет и старше (2012 г. – 0,3 %; 2017 г. – 0,3 %; 2022 г. – 0,4 %). Другие возрастные категории занимают в общей структуре доли от 0,5 % до 23,7 %.

Анализ изменений гендерной структуры занятого населения сельских территорий проводился авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики за период с 2012 по 2022 год (рис. 3).

Таким образом, за рассматриваемый период с 2012 по 2022 год в структуре занятого населения сельских территорий по полу преобладает мужское население, доля которого ежегодно увеличивалась и оставалась на уровне не ниже 54 %, и, соответственно, снижалась доля женского населения в общей структуре занятых. Из вышеуказанного факта вытекает следующее: основу рабочей силы сельского хозяйства составляют преимущественно мужчины трудоспособного возраста. Однако, согласно статистике [11; 12], именно данная категория наиболее подвержена миграционному оттоку в крупные агломерации.

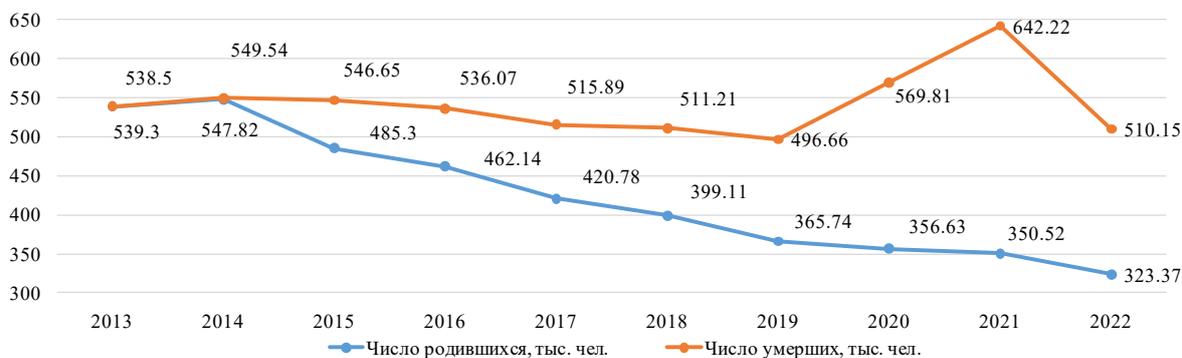


Рис. 1. Динамика рождаемости и смертности населения сельских территорий в России, тыс. чел.

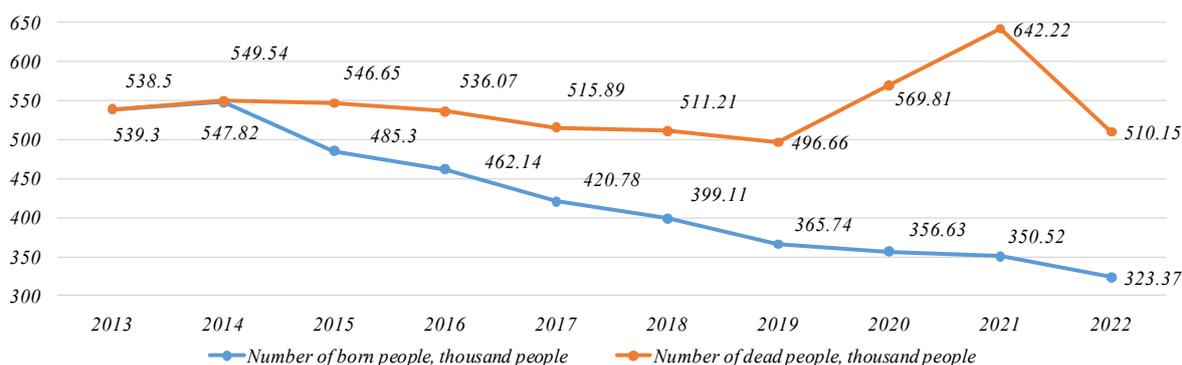


Fig. 1. Dynamics of fertility and mortality of the population of rural areas in Russia, thousand people

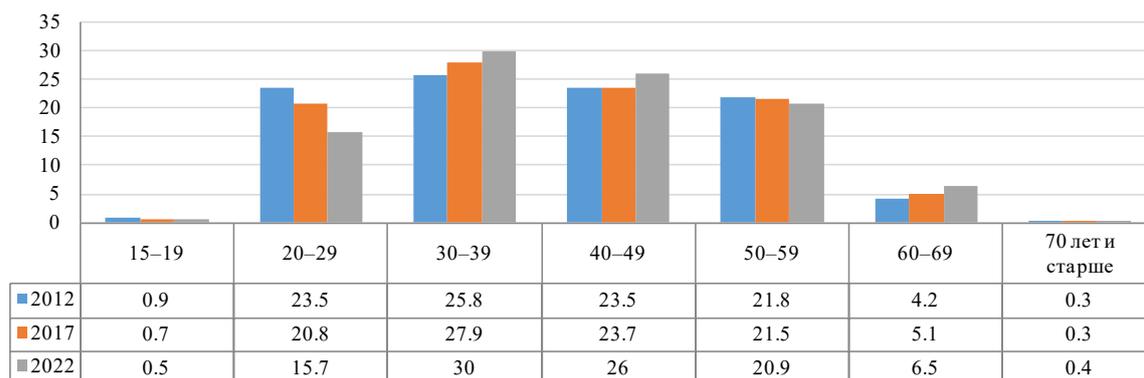


Рис. 2. Структура занятого населения сельских территорий в России по возрасту, %

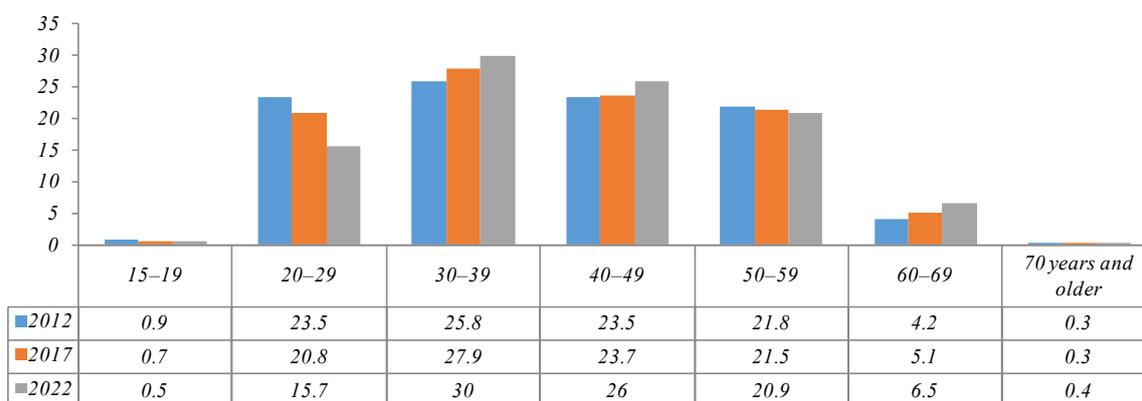


Fig. 2. The structure of the employed population of rural areas in Russia by age, %

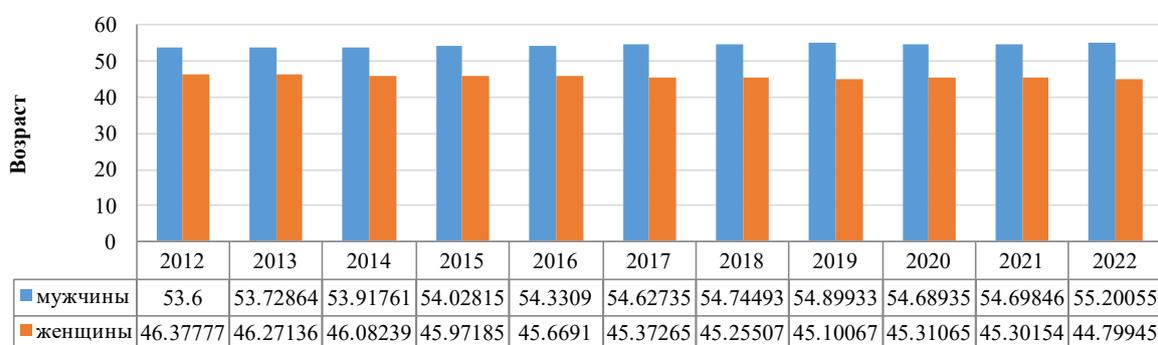


Рис. 3. Структура занятого населения сельских территорий в России по полу, %

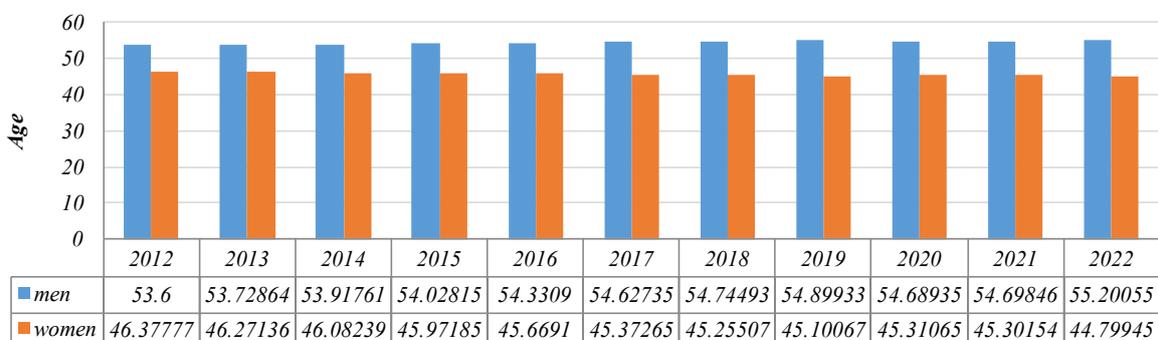


Fig. 3. Structure of the employed population of rural areas in Russia by gender, %



Рис. 4. Структура занятых в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве по уровню образования в России за 2021 год, %

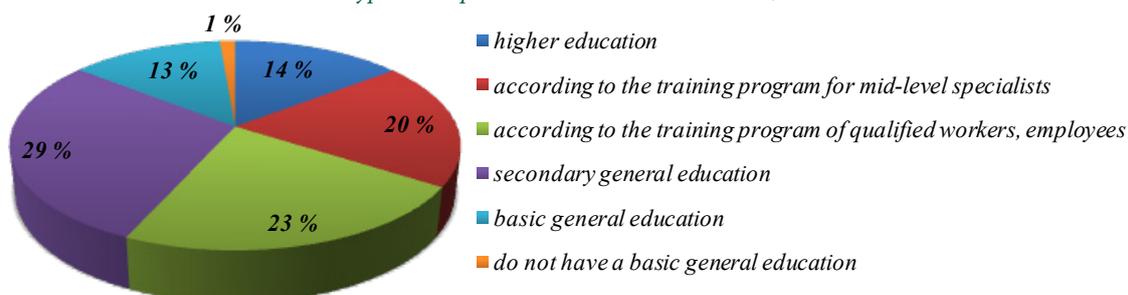


Fig. 4. The structure of those employed in agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming by the level of education in Russia for 2021, %

Таблица 2
Динамика численности рабочей силы в России и его распределение по статусу участия в составе рабочей силы

Год	Рабочая сила					
	Население всего, тыс. чел.	Рабочая сила, тыс. чел.	В том числе в сельских населенных пунктах		Из них, тыс. чел.	
			тыс. чел.	%	Занятые	Безработные
2007	112 229	75 289	18 249	24,24	16 223	2 026
2012	110 222	75 676	18 100	23,92	16 561	1 540
2017	121 561	76 285	17 834	23,38	16 407	1 427
2021	120 812	75 350	17 108	22,70	15 931	1 177

Источник: <https://rosstat.gov.ru>.

Table 2
Dynamics of the labor force in Russia and its distribution by the status of participation in the labor force

Year	Labor force					
	Total population, thousand people	Labor force, thousand people	Including in rural settlements		Of them, thousand people	
			Thousand people	%	Busy	Unemployed
2007	112 229	75 289	18 249	24.24	16 223	2 026
2012	110 222	75 676	18 100	23.92	16 561	1 540
2017	121 561	76 285	17 834	23.38	16 407	1 427
2021	120 812	75 350	17 108	22.70	15 931	1 177

Source: <https://rosstat.gov.ru>.

Отдельного внимания требует проведение анализа образовательного уровня работников аграрного сектора экономики.

Так, в структуре занятых в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве по уровню образования в Российской Федерации по данным за 2021 год высшее образование имеют только 13 % от общего числа занятых, почти треть всех занятых (29 %) имеют среднее общее образование, а 1,3 % не имеют основного общего образования (рис. 4).

Недостаточно высокий уровень образования занятых в сельском хозяйстве не позволяет в значительной мере применять инновационные техно-

логии в производственных процессах, поскольку имеющихся профессиональных навыков и компетенций работников сельскохозяйственных предприятий зачастую недостаточно для создания на практике высокотехнологичных рабочих мест [13].

Таким образом, основу для трудового потенциала сельского хозяйства составляют сотрудники со средним профессиональным образованием [14], однако для проходящих трансформационных процессов в отрасли этого недостаточно.

С каждым годом сокращается число занятых в сельских населенных пунктах, что напрямую связано с общим снижением количества рабочей силы (таблица 2).

Таблица 3
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в расчете на одного работника по отраслям в России, ПФО и Нижегородской области, руб.

Отрасль	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
	Россия	ПФО	Нижегородская область	Россия	ПФО	Нижегородская область	Россия	ПФО	Нижегородская область
	В среднем по всем отраслям, в том числе	51 343,90	36 975,10	37 600,90	57 243,70	41 128,60	41 368,80	65 338,30	47 298,90
растениеводство и животноводство, охота	31 057,60	26 363,40	25 065,40	35 460,20	30 262,50	29 236,70	41 993,70	36 862,50	34 173,50
строительство	45 802,40	30 289,30	25 233,43	52 912,53	35 435,00	26 250,50	61 966,00	42 768,57	33 444,03
складское хозяйство и вспомогательная транспортная деятельность	52 396,40	36 714,70	35 963,90	59 056,20	41 320,80	41 905,50	66 444,20	46 518,50	49 136,90
обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки	30 864,40	25 514,30	24 707,50	36 313,80	29 443,20	26 723,90	40 464,40	32 788,00	33 868,80
образование	39 562,50	30 010,30	32 117,00	43 390,50	33 302,80	34 712,80	48 400,20	37 552,30	40 035,70
деятельность в области здравоохранения	51 266,30	39 257,40	40 774,80	52 535,30	39 607,50	39 434,80	57 460,60	43 718,70	43 973,90

Источник: <https://rosstat.gov.ru>

Table 3
Average monthly nominal accrued salary per employee by industry in Russia, the Volga Federal District and the Nizhny Novgorod region, rubles

Field	2020			2021			2022		
	Russia	Volga Federal District	Nizhny Novgorod region	Russia	Volga Federal District	Nizhny Novgorod region	Russia	Volga Federal District	Nizhny Novgorod region
	On average across all industries, including	51 343.90	36 975.10	37 600.90	57 243.70	41 128.60	41 368.80	65 338.30	47 298.90
crop and animal husbandry, hunting	31 057.60	26 363.40	25 065.40	35 460.20	30 262.50	29 236.70	41 993.70	36 862.50	34 173.50
building	45 802.40	30 289.30	25 233.43	52 912.53	35 435.00	26 250.50	61 966.00	42 768.57	33 444.03
warehousing and auxiliary transport activities	52 396.40	36 714.70	35 963.90	59 056.20	41 320.80	41 905.50	66 444.20	46 518.50	49 136.90
wood processing and manufacture of wood and cork products	30 864.40	25 514.30	24 707.50	36 313.80	29 443.20	26 723.90	40 464.40	32 788.00	33 868.80
education	39 562.50	30 010.30	32 117.00	43 390.50	33 302.80	34 712.80	48 400.20	37 552.30	40 035.70
health care activities	51 266.30	39 257.40	40 774.80	52 535.30	39 607.50	39 434.80	57 460.60	43 718.70	43 973.90

Source: <https://rosstat.gov.ru>

Проводя на основании представленных выше данных таблицы анализ динамики численности рабочей силы в целом по стране и в сельских населенных пунктах Российской Федерации за последние 15 лет (с 2002 по 2021 год) в абсолютных числах, следует отметить незначительный рост рабочей силы на 61 тыс. чел. в целом по стране, однако при этом численность рабочей силы в сельских населенных пунктах сократилась на 1141 тыс. чел.

Снижение показателя доли рабочей силы в сельских населенных пунктах негативно влияет на возможности его развития. Тенденция снижения данного показателя наряду с недостаточным уровнем инновационного развития отраслей сельского хозяйства снижает уровень обеспеченности сельскохозяйственных организаций рабочей силой [15].

Следствием низкого уровня образованности работников также является низкий уровень оплаты труда в сельском хозяйстве [16], который гораздо ниже, чем в других отраслях, в том числе в отрасли образования, здравоохранения и сферы услуг (таблица 3).

Несмотря на ежегодную индексацию заработной платы, подобная тенденция снижения стоимости труда сохраняется, что уменьшает мотивацию занятых в отрасли сельского хозяйства, а также не способствует трудоустройству в сельскохозяйственные предприятия и проживанию населения в сельской местности, тормозя привлечение в отрасль молодых специалистов и выпускников профильных образовательных организаций [17].

Исходя из представленных статистических данных, среди основных причин сокращения численности сельского населения и числа занятых в отраслях сельского хозяйства можно назвать отток населения из сельской местности в агломерации, низкий уровень оплаты труда в сельском хозяйстве, перераспределение работников в сферу переработки, подсобных работ и промыслов и в сферу услуг, отсутствие спроса у абитуриентов на образовательные организации сельскохозяйственного профиля [18], нежелание молодежи работать в сельской местности ввиду низкого качества жизни и отсутствия доступных объектов социальной инфраструктуры (образование, медицина, транспорт, досуг и др.), отсутствие или недостаточность мер муниципальной и государственной поддержки для формирования трудового ресурса и потенциала отрасли.

Как отмечают многие исследователи, сельскохозяйственная отрасль и сельские территории для привлечения и удержания пула трудовых ресурсов имеют также и положительные социально-экономические факторы [19–21].

Обозначенный спектр социально-экономических факторов считаем целесообразно классифицировать следующим образом:

- способствующие формированию и развитию человеческого капитала аграрной сферы (благоприятные условия труда работников, развитие социальной инфраструктуры села и другие);
- препятствующие формированию и развитию человеческого капитала (снижающийся уровень производства сельского хозяйства, ухудшение социально-бытовых условий жизни на селе, отсутствие развитой транспортной сети, низкий уровень медицинского обслуживания и другие).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Для кадровой ситуации в аграрной сфере характерные тенденции и проблемы, которые в значительной мере влияют на человеческий капитал данной отрасли, можно систематизировать по группам факторов (таблица 4).

Авторы считают, что ключевыми аспектами повышения мотивации к труду сельских территорий являются создание благоприятной среды для совершенствования кадровой политики, которая будет не только затрагивать социально-бытовую и материальную составляющие, но и учитывать экологические, инновационные, технологические аспекты [22].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для решения проблем кадровой политики в сельском хозяйстве необходим комплексный подход, учитывающий, как положительное, так и отрицательное воздействие факторов формирования человеческого капитала на все уровни и элементы структуры.

Более детально комплексный подход к формированию системы управления человеческим капиталом сельских территорий с учетом внутренних и внешних факторов воздействия представлен авторами на рис. 5.

Проведенная качественная и количественная оценка человеческого капитала в форме трудовых ресурсов России позволяет сделать вывод о наличии проблем в отрасли, среди которых можно выделить ежегодное сокращение численности населения в сельской местности, постоянный отток трудовых ресурсов, вследствие чего прекращают свое существование сельские поселения [23]. С каждым годом снижается количество производимой продукции и растет площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий.

Несомненно, в условиях инновационной экономики ключевым фактором эффективности аграрной сферы является скорость внедрения научно-технического прогресса, что повышает требования к уровню образования и квалификации трудовых ресурсов отрасли.

Таблица 4
Факторы, оказывающие влияние на процесс формирования и использования человеческого капитала сельских территорий

Классификация факторов		Технологические
Ресурсно-демографические	Социально-экономические	
	Негативные факторы	
<ul style="list-style-type: none"> ● достаточно низкий уровень рождаемости; ● повышенный уровень миграционной активности населения сельских территорий в городские агломерации при высоком показателе прироста некоренных мигрантов; ● высокие темпы роста смертности населения; ● снижение уровня использования земель как следствие снижения плодородия; ● уменьшение доли лиц трудоспособного возраста; ● расширение сферы влияния со стороны мигрантов; ● образовательно-культурный уровень кадров аграрной сферы ниже, чем в городской местности; ● высокий возрастной порог работников отраслей сельского хозяйства; ● нестабильный характер занятости, связанный с сезонностью производства; ● снижение экономической активности различных социально-демографических групп населения сельских территорий 	<ul style="list-style-type: none"> ● низкий уровень престижа работы в сельском хозяйстве; ● отсутствие мотивации у работников отраслей сельского хозяйства; ● отсутствие комплексного подхода к формированию кадрового потенциала предприятий; ● отсутствие эффективной системы профориентации и кадрового воспроизводства; ● отсутствие системы подготовки и переподготовки кадров; ● дефицит высококвалифицированных кадров; ● низкий уровень оплаты труда в сравнении с другими отраслями; ● применение устаревших систем оплаты труда; ● отсутствие объектов социальной инфраструктуры в сельских территориях; ● низкий уровень социально-бытовых условий сельских территорий в сравнении с городом; ● отсутствие перспектив развития по сравнению с городами; ● перераспределение работников из аграрной сферы в сферы переработки, подсобных работ, промыслов и другие сферы 	<ul style="list-style-type: none"> ● высокий уровень износа основных производственных фондов; ● низкий уровень производительных сил предприятий; ● недостаточно высокая инновационная активность агропродовольственного комплекса; ● низкий уровень развития социально-инженерной инфраструктуры сельских территорий; ● низкий качественный уровень человеческого капитала тормозит внедрение высокотехнологичных процессов; ● низкий уровень развития инфраструктурных и транспортных условий по сравнению с городскими; ● наличие плохо отлаженных рынков сбыта товаровпроизводителей; ● недостаточно продуманная инвестиционная и инновационная политика со стороны государства в отношении сельских территорий
	Позитивные факторы	
<ul style="list-style-type: none"> ● привлечение возможности развития смежных производственных отраслей на сельских территориях; ● наличие в обороте земель, пригодных для использования; ● высокий уровень освоения биоклиматического потенциала и экологической среды сельских территорий страны; ● наличие системы мониторинга и оценки демографической политики; ● превышение уровня рождаемости над уровнем смертности 	<ul style="list-style-type: none"> ● наличие мер государственной поддержки по устойчивому развитию сельских территорий; ● рост эффективности регулирования рынков сбыта в рамках государственной политики импортозамещения; ● высокая степень экономической и социальной освоенности сельских территорий; ● повышение эффективности мер государственной поддержки рынков сельскохозяйственной продукции 	<ul style="list-style-type: none"> ● техническое и технологическое переоснащение материально-технической базы предприятий; ● рост уровня механизации сельхозтоваропроизводителей; ● создание инновационных центров и развитие их деятельности; ● стимулирование и поддержка со стороны государства инновационной деятельности и развития сельхозхозяйства; ● создание распределительных центров для реализации продукции; ● - разработка и внедрение цифровой концепции трансформации сельских территорий

Table 4
Factors influencing the process of formation and use of human capital in rural areas

Classification of factors		Technological
Resource and demographic	Socio-economic	
	Negative factors	
<ul style="list-style-type: none"> • a fairly low birth rate; • increased level of migration activity of the population of rural areas to urban agglomerations with a high rate of increase of non-indigenous migrants; • high rates of population mortality growth; • decrease in the level of land use, as a consequence of a decrease in fertility; • decrease in the proportion of people of working age; • expanding the sphere of influence of migrants; • the educational and cultural level of agricultural personnel is lower than in urban areas; • high age threshold of agricultural workers; • the unstable nature of employment associated with the seasonality of production; • decrease in economic activity of various socio-demographic groups of the rural population 	<ul style="list-style-type: none"> • low level of prestige of work in agriculture; • lack of motivation among agricultural workers; • lack of a comprehensive approach to the formation of human resources of enterprises; • lack of an effective system of career guidance and personnel reproduction; • lack of a system of training and retraining of personnel; • shortage of highly qualified personnel; • low level of remuneration in comparison with other industries; • application of outdated remuneration systems; • lack of social infrastructure facilities in rural areas; • low level of social and living conditions of rural areas in comparison with the city; • lack of development prospects compared to cities; • reallocation of workers from the agricultural sector to the areas of processing, ancillary work, crafts and other areas 	<ul style="list-style-type: none"> • high level of depreciation of fixed assets; • low level of productive forces of enterprises; • insufficiently high innovative activity of the agro-food complex; • low level of development of social and engineering infrastructure of rural areas; • low quality level of human capital hinders the introduction of high-tech processes; • low level of development of infrastructure and transport conditions in comparison with urban; • the presence of poorly established markets for commodity producers; • insufficiently thought-out investment and innovation policy on the part of the state in relation to rural areas
<p>Positive factors</p> <ul style="list-style-type: none"> • attracting opportunities for the development of related production industries in rural areas; • availability of usable land in circulation; • high level of development of bioclimatic potential and ecological environment of rural areas of the country; • availability of a system for monitoring and evaluating demographic policy; • the excess of the birth rate over the death rate 	<ul style="list-style-type: none"> • availability of state support measures for the sustainable development of rural areas; • increase in the effectiveness of regulation of sales markets within the framework of the state policy of import substitution; • high degree of economic and social development of rural areas; • improving the effectiveness of state support measures for agricultural markets 	<ul style="list-style-type: none"> • technical and technological re-equipment of the material and technical base of enterprises; • increase in the level of mechanization of agricultural producers; • creation of innovation centers and development of their activities; • stimulation and support from the state of innovation and agricultural development; • creation of distribution centers for the sale of products. • development and implementation of the digital concept of rural transformation

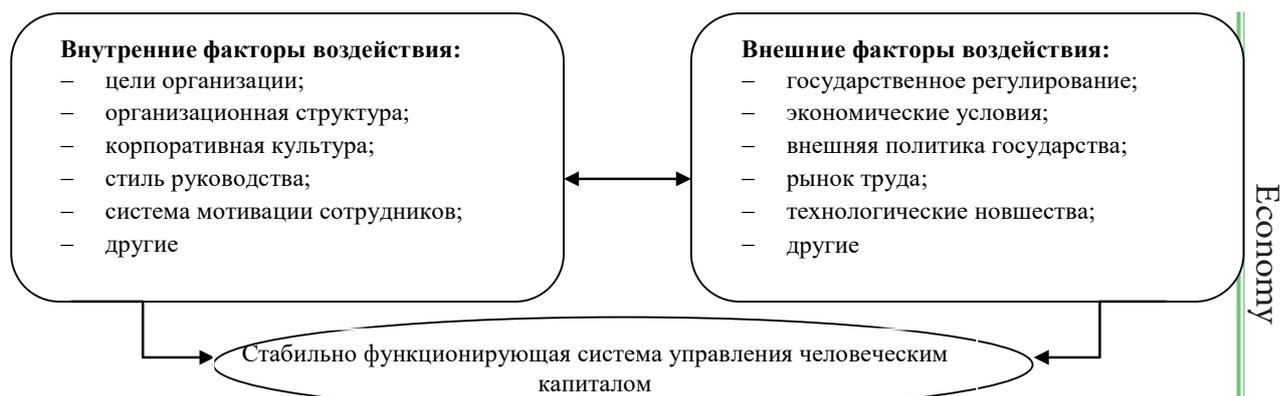


Рис. 5. Комплексный подход к системе управления человеческим капиталом

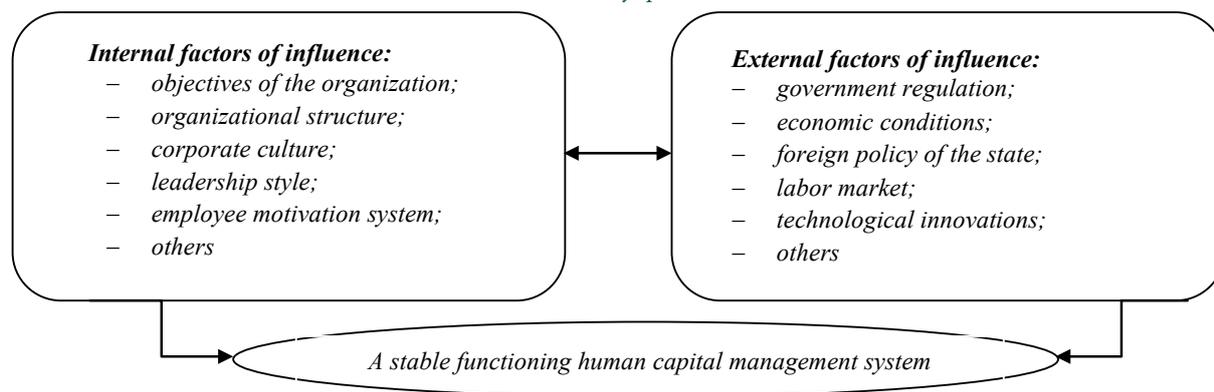


Fig. 5. An integrated approach to the human capital management system

Кадровые проблемы, возникающие в новых условиях, не могут быть разрешены с помощью устаревших методов и технологий. Для современного обучения и повышения квалификации в аграрном секторе разработаны эффективные методики и технологии, направленные на формирование интеллектуального капитала отрасли. Так, например, федеральный проект «Профессионалитет» успешно функционирует как новая модель практико-ориентированной подготовки квалифицированных кадров, направленная на максимальное приближение условий подготовки обучающихся образовательных организаций к реальным условиям производства.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что ключевыми инструментами формирования человеческого капитала аграрного сектора являются:

- инвестиции в целевое и дополнительное профессиональное образование, способствующее росту производительности труда;

- применение компетентностного подхода в системе аграрного образования;

- внедрение адаптированной системы оплаты труда, соответствующая принципам мотивации деятельности и персонального развития работников;

- расширение перечня государственных программ, направленных на привлечение специалистов, востребованных профессий аграрного сектора, на сельские территории.

Отметим, что указанные инструменты необходимо учитывать при формировании человеческого капитала аграрного сектора не только на уровне отдельно взятого предприятия, но и на уровне муниципалитетов, регионов и государственных органов управления аграрно-промышленного комплекса страны.

Библиографический список

1. Громова Н. В. Человеческий капитал как фактор социально-экономического развития России // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2019. Т. 2, № 1. С. 14–22.
2. Полякова С. В. Трудовые ресурсы предприятия: сущность, эффективность управления и использования в современных условиях // Перспективные этапы развития научных исследований: теория и практика: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Кемерово, 2020. С. 81–83.
3. Муханова М. Н. Субъекты сельскохозяйственного производства в социально-структурных процессах российского села // Социологическая наука и социальная практика. 2020. Т. 8, № 4 (32). С. 199–212.
4. Алферов А. А. Оценка влияния международной трудовой миграции на устойчивость региональной предпринимательской системы (на примере Камчатского края). Москва: КноРус, 2019. 140 с.

5. Безвербный В. А. Тенденции депопуляции сельских территорий Российской Федерации по данным Всероссийской переписи населения 2020 // Наука. Культура. Общество. 2022. Т. 28, № 4. С. 150–161.
6. Нагматуллина Л. К. Динамика изменения социально-демографических процессов российского общества в статистике переписей населения // Казанский социально-гуманитарный вестник. 2022. № 6 (57). С. 75–81. DOI: 10.26907/2079-5912.2022.6.75-81.
7. Сергеева Н. М. Анализ факторов смертности населения по причинам смерти в России // Региональный вестник. 2020. № 5 (44). С. 98–100.
8. Умерова С. Э. Человеческий капитал как современный вид собственности и фактор трансформации систем трудовых ресурсов и экономических отношений // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2021. № 2 (72). С. 217–222.
9. Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Pilipenko O. V., Kravets O. Ja. Solving the problem of the evolutionary tasks of economics and organization of production in spatial networks // Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference “Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019”. Krasnoyarsk, 2019. Vol. 1399. Article number 33032. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033032.
10. Постнова М. В. Специфика занятости сельского населения региона и факторы, ее определяющие // Экономика труда. 2020. Т. 7, № 12. С. 1217–1234.
11. Golovina S., Hess S., Nilsson J., Wolz A. Networking among Russian farmers and their prospects for success // Post-Communist Economics. 2019. Vol. 31, No. 4. Pp. 484–499.
12. Ториков В. Е., Васькин В. Ф., Подольникова Е. М., Потворов А. И. Динамика численности населения и занятости в сельской местности // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 110–117.
13. Ерофеева И. Е. Тенденции подготовки кадров для сельского хозяйства // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях: материалы II международной научно-практической конференции. Воронеж, 2020. С. 116–119.
14. Потапова А. В. Анализ состояния занятости и безработицы в сельской местности // Экономика и управление: ключевые проблемы и перспективы развития: материалы XI международной научно-практической конференции. Тихорецк, 2020. С. 215–219.
15. Самойленко А. А. Проблемы занятости и безработицы в сельской местности // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 69-й научной студенческой конференции. Воронеж, 2018. С. 17–20.
16. Klimentova E. A., Dubovitsky A. A., Yurina E. A., et al. Regional features of rural unemployment in Russia // Economics of Agriculture. 2021. Vol. 68, No. 2. Pp. 357–374. DOI: 10.5937/ekoPolj2102357K.
17. Сапожникова Н. И. Проблемы обеспечения занятости молодежи в сельской местности // Правовое обеспечение агропромышленного комплекса: современное правовое регулирование и перспективы развития законодательства: сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (симпозиума). Краснодар, 2021. С. 25–31.
18. Самарханов Т. Г. Пути повышения роли дополнительного аграрного образования в условиях цифровизации и инновационного развития АПК // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 12. С. 58–64.
19. Митин С. Г., Шамин А. Е., Проваленова Н. В. [и др.] Влияние демографической ситуации на сельских территориях на воспроизводство человеческого капитала в аграрном секторе экономики // Общество: политика, экономика, право. 2023. № 7 (120). С. 74–85.
20. Kuznetsova I. G., Bulyga R. P., Rakhmatullina L. V., Titova S. V., Shichiyakh R. A., Zakirov R. A. Problems and Prospects of Human Capital Development in Modern Russia // International Journal of Economics and Business Administration. 2019. Vol. VII, Iss. 2. Pp. 164–175. DOI: 10.35808/IJEB/224.
21. Asmolov A. G., Guseltseva M. Education as a space of opportunities: from human capital to human potential // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Vol. 64. Pp. 40–45.
22. Ярушева С. А. Современные направления развития человеческих ресурсов через повышение квалификации кадров // Управление будущим в контуре экономической и социальной реальности: сборник статей Международной научно-практической конференции. Челябинск, 2019. С. 15–18.
23. Дубовицкий А. А. Перспективные направления инновационного развития аграрной сферы АПК [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2022. Т. 5, № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-napravleniya-innovatsionnogo-razvitiya-agrarnoy-sfery-apk> (дата обращения: 27.10.2023).

Об авторах:

Наталья Вячеславовна Мурашова, кандидат экономических наук, доцент кафедры товароведения, управления качеством и экономики сферы услуг, Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, Нижний Новгород, Россия; ORCID 0000-0001-7124-9039, AuthorID 996641. E-mail: nata_dmitrieva@list.ru

Ольга Юрьевна Маримакова, заместитель директора по организационно-экономической деятельности, Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, Нижний Новгород, Россия; ORCID 0000-0002-7484-809X, AuthorID 1042660. E-mail: marimakova.olga@mail.ru

References

1. Gromova N. V. Human capital as a factor of social and economic development of Russia. *Vestnik of Volzhsky University named after V. N. Tatishchev*. 2019; 2 (1): 14–22. (In Russ.)
2. Polyakova S. V. Human resources of the enterprise: the essence, efficiency of management and use in modern conditions. *Prospective stages of development of scientific research: theory and practice: collection of materials of the International scientific and practical conference*. Kemerovo, 2020. Pp. 81–83. (In Russ.)
3. Mukhanova M. N. Subjects of agricultural production in the socio-structural processes of the Russian village. *Sociological Science and Social Practice*. 2020; 4 (32): 199–212. (In Russ.)
4. Alferov A. A. *Assessment of the impact of international labor migration on the stability of the regional business system (on the example of the Kamchatka Territory)*. Moscow: KnoRus, 2019. 140 p. (In Russ.)
5. Bezverbnyy V. A. Trends in depopulation of rural areas of the Russian Federation according to the All-Russian Population Census 2020. *Science. Culture. Society*. 2022; 4: 150–161. (In Russ.)
6. Nagmatullina L. K. Dynamics of changes in the socio-demographic processes of Russian society in the statistics of population censuses. *The Kazan Socially-Humanitarian Bulletin*. 2022; 6 (57): 75–81. DOI: 10.26907/2079-5912.2022.6.75-81. (In Russ.)
7. Sergeeva N. M. Analysis of population mortality factors by causes of death in Russia. *Regional'nyy Vestnik*. 2020; 5 (44): 98–100. (In Russ.)
8. Umerova S. E. Human capital as a modern type of property and a factor of transformation of labor resource systems and economic relations. *Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*. 2021; 2 (72): 217–222. (In Russ.)
9. Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Pilipenko O. V., Kravets O. Ja. Solving the problem of the evolutionary tasks of economics and organization of production in spatial networks. *Journal of Physics: Conference Series International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019"*. Krasnoyarsk, 2019; 1399: 33032. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033032.
10. Postnova M. V. The specifics of employment of the rural population of the region and the factors determining it. *Russian Journal of Labor Economics*. 2020; 12: 1217–1234. (In Russ.)
11. Golovina S., Hess S., Nilsson J., Wolz A. Networking among Russian farmers and their prospects for success. *Post-Communist Economies*. 2019; 4: 484–499. (In Russ.)
12. Torikov V. E., Vas'kin V. F., Podol'nikova E. M., Potvorov A. I. Dynamics of population and employment in rural areas. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 2: 110–117 (In Russ.)
13. Erofeeva I. E. Trends in personnel training for agriculture. *Management of innovative development of agri-food systems at the national and regional levels: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Voronezh, 2020. Pp. 116–119. (In Russ.)
14. Potapova A. V. Analysis of the state of employment and unemployment in rural areas. *Economy and Management: Key Problems and Development Prospects: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*. Tikhoretsk, 2020. Pp. 215–219. (In Russ.)
15. Samoylenko A. A. Problems of employment and unemployment in rural areas. *Youth vector of development of agricultural science: materials of the 69th scientific student conference*. Voronezh, 2018. Pp. 17–20. (In Russ.)
16. Klimentova E. A., Dubovitsky A. A., Yurina E. A., et al. Regional features of rural unemployment in Russia. *Economics of Agriculture*. 2021; 68 (2): 357–374. DOI: 10.5937/ekoPolj2102357K. (In Russ.)
17. Sapozhnikova N. I., Dement'eva K. Yu. Problems of ensuring youth employment in rural areas. *Legal support for the agro-industrial complex: modern legal regulation and prospects for the development of legislation: collection of articles of the II All-Russian (national) scientific and practical conference (symposium)*. Krasnodar, 2021. Pp. 25–31. (In Russ.)
18. Samarkhanov T. G. Ways to increase the role of additional agricultural education in the conditions of digitalization and innovative development of the agro-industrial complex. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2022; 12: 58–64. (In Russ.)

19. Mitin S. G., Shamin A. E., Provalenova N. V., et al. The impact of the demographic situation in rural areas on the reproduction of human capital in the agricultural sector of the economy. *Society: Politics, Economics, Law*. 2023; 7 (120): 74–85. (In Russ.)
20. Kuznetsova I. G., Bulyga R. P., Rakhmatullina L. V., Titova S. V., Shichiyakh R. A., Zakirov R. A. Problems and Prospects of Human Capital Development in Modern Russia. *International Journal of Economics and Business Administration*. 2019; VII (2): 164–175. DOI: 10.35808/IJEBA/224. (In Russ.)
21. Asmolov A. G., Guseltseva M. Education as a space of opportunities: from human capital to human potential. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS*. 2019; 64: 40–45. (In Russ.)
22. Yarusheva S. A., Sanatina K. P. Modern directions of human resources development through advanced training of personnel. *Managing the Future in the Context of Economic and Social Reality: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference*. Chelyabinsk, 2019. Pp. 15–18. (In Russ.)
23. Dubovitskiy A. A. Promising directions of innovative development of the agricultural sector of the agro-industrial complex. *Nauka i Obrazovanie* [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 27]; 5 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-napravleniya-innovatsionnogo-razvitiya-agrarnoy-sfery-apk>. (In Russ.)

Authors' information:

Natalya V. Murashova, candidate of economic sciences, associate professor of the department of service, commodity science and quality management, Institute of Food Technology and Design – branch of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Nizhny Novgorod, Russia; ORCID 0000-0001-7124-9039, AuthorID 996641. *E-mail: nata_dmitrieva@list.ru*

Olga Yu. Marimakova, deputy director for organizational and economic activities, Institute of Food Technology and Design – branch of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Nizhny Novgorod, Russia; ORCID 0000-0002-7484-809X, AuthorID 1042660. *E-mail: marimakova.olga@mail.ru*

Современные подходы к управлению устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий в условиях глобализации

В. В. Сулимин¹✉, В. В. Шведов¹, Н. П. Ларионова²

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉ E-mail: sulimin_usue@mail.ru

Аннотация. Сельскохозяйственный сектор сталкивается с вызовами, усугубляемыми глобальными тенденциями, такими как изменение климата, рыночные колебания и усиление международной конкуренции. Эти факторы требуют адаптации и внедрения новых технологий для минимизации негативного воздействия на урожайность и стабильность производства. Важность устойчивого развития аграрного сектора обусловлена его ролью в обеспечении продовольственной безопасности и экологической стабильности. Это требует гибкости в управлении, инноваций и сотрудничества с местными сообществами и государством для обеспечения устойчивого развития и социально-экономического благополучия. **Целью** данной статьи является анализ современных подходов к управлению устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий, а также оценка их эффективности в контексте глобализации. **Методы.** В статье использованы методы анализа научной литературы, сравнительного анализа, а также кейс-стади из различных стран. Это позволило обобщить опыт применения различных стратегий и практик управления устойчивым развитием. **Научная новизна** заключается в разработке и применении мультидисциплинарного методологического фреймворка, который интегрирует экономические, экологические и социальные аспекты для оценки эффективности существующих моделей управления в аграрном секторе в условиях глобализации. Комплексный подход включает анализ таких показателей, как рентабельность предприятий, уровень воздействия на окружающую среду и степень социальной ответственности. **Результаты.** Основные результаты заключаются в выявлении наиболее эффективных современных подходов к управлению устойчивым развитием, которые учитывают специфику аграрного сектора и глобальные экономические тенденции. В статье делается вывод о том, что интеграция инновационных технологий, повышение экологической ответственности и укрепление международного сотрудничества являются ключевыми факторами успешного управления устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий в современных условиях.

Ключевые слова: устойчивое развитие, сельскохозяйственные предприятия, глобализация, управление, международное сотрудничество

Для цитирования: Сулимин В. В., Шведов В. В., Ларионова Н. П. Современные подходы к управлению устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий в условиях глобализации // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1239–1252. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1239-1252>.

Дата поступления статьи: 06.03.2024, **дата рецензирования:** 15.06.2024, **дата принятия:** 29.07.2024.

Modern approaches to managing the sustainable development of agricultural enterprises in the context of globalization

V. V. Sulimin^{1✉}, V. V. Shvedov¹, N. P. Larionova²

¹ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

² Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

✉ E-mail: sulimin_usue@mail.ru

Abstract. The agricultural sector faces challenges exacerbated by global trends such as climate change, market fluctuations and increased international competition. These factors require adaptation and implementation of new technologies to minimize the negative impact on yields and production stability. The importance of sustainable development of the agricultural sector is due to its role in ensuring food security and environmental stability. This requires management flexibility, innovation and collaboration with local communities and government to ensure sustainable development and socio-economic well-being. **The purpose** of this article is to analyze modern approaches to managing the sustainable development of agricultural enterprises, as well as assessing their effectiveness in the context of globalization. **Methods.** The article uses methods of analysis of scientific literature, comparative analysis, as well as case studies from various countries. This made it possible to generalize the experience of applying various strategies and practices for managing sustainable development. **Scientific novelty** lies in the development and application of a multidisciplinary methodological framework that integrates economic, environmental and social aspects to assess the effectiveness of existing management models in the agricultural sector in the context of globalization. An integrated approach includes analysis of indicators such as enterprise profitability, level of environmental impact and degree of social responsibility. **Results.** The main results are to identify the most effective modern approaches to managing sustainable development, which take into account the specifics of the agricultural sector and global economic trends. The article concludes that the integration of innovative technologies, increasing environmental responsibility and strengthening international cooperation are key factors for successfully managing the sustainable development of agricultural enterprises in modern conditions.

Keywords: sustainable development, agricultural enterprises, globalization, management, international cooperation

For citation: Sulimin V. V., Shvedov V. V., Larionova N. P. Modern approaches to managing the sustainable development of agricultural enterprises in the context of globalization. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1239–1252. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-09-1239-1252>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.03.2024, **date of review:** 15.06.2024, **date of acceptance:** 29.07.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В современном мире аграрный сектор играет ключевую роль в экономическом развитии стран, обеспечении продовольственной безопасности населения и устойчивом использовании природных ресурсов. Однако глобализация, изменение климата, рост населения и увеличение потребности в продовольствии ставят перед сельскохозяйственными предприятиями ряд серьезных вызовов, которые требуют новых подходов к управлению и развитию. Актуальность темы настоящего исследования обусловлена необходимостью адаптации аграрного сектора к меняющимся внешним условиям и поиском эффективных стратегий для достижения устойчивости.

Первоначально устойчивое развитие аграрного сектора связывается с проблематикой экологической безопасности, сохранением биоразнообразия и рациональным использованием природных ре-

сурсов. Это требует внедрения инновационных технологий и методов обработки земли, которые минимизируют вредное воздействие на окружающую среду, а также разработки и реализации системы мероприятий по адаптации к изменениям климата [1; 2; 6; 8; 12].

Вторым важным аспектом является необходимость обеспечения продовольственной безопасности. В условиях роста мирового населения и увеличения потребности в продовольствии задача сельскохозяйственных предприятий заключается не только в увеличении объемов производства, но и в повышении его эффективности и качества, что возможно при использовании передовых технологий и управленческих решений [19].

Третьим фактором, подчеркивающим актуальность темы, является экономическая составляющая устойчивого развития. В условиях глобализации и повышенной конкуренции на международных рын-

как сельскохозяйственные предприятия должны не только оптимизировать свои процессы и снижать издержки производства, но и активно внедрять инновации для сохранения и укрепления своих конкурентных преимуществ [7].

Четвертым аспектом актуальности является социальная ответственность аграрного сектора. Устойчивое развитие предполагает создание условий для достойного труда, обеспечение социальной защиты работников аграрного сектора и улучшение качества жизни сельского населения. В этом контексте особое внимание уделяется развитию сельских территорий, укреплению местных сообществ и поддержке малых форм хозяйствования [3; 8; 9].

Основная цель данной статьи – анализ и оценка современных подходов к управлению устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий в контексте глобализации, а также выявление наиболее эффективных стратегий, способствующих повышению их адаптивности и конкурентоспособности на мировом рынке. Для достижения поставленной цели в статье определены следующие задачи:

1. Исследование влияния глобализации на сельскохозяйственный сектор. Анализ основных вызовов и перспектив, которые глобализация предоставляет для сельскохозяйственных предприятий, включая изменение климата, рыночные колебания и усиление международной конкуренции.

2. Обзор современных теоретических подходов к управлению устойчивым развитием. Изучение и синтез литературы по теме управления устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий, включая анализ различных моделей и стратегий, применяемых в разных странах.

3. Анализ практических примеров успешного управления устойчивым развитием. Изучение кейсов [4; 11] сельскохозяйственных предприятий, успешно применяющих современные подходы к управлению устойчивым развитием, с целью выявления ключевых факторов успеха и возможностей для их репликации.

Реализация этих задач позволит не только глубоко проанализировать существующую ситуацию и тенденции в управлении устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий, но и выработать практические рекомендации, способствующие повышению их эффективности и адаптации к меняющимся условиям глобального аграрного рынка.

Исследование устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий и влияния глобализации на аграрный сектор требует всестороннего анализа научной литературы, охватывающего различные аспекты данной проблематики. В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к вопросам устойчивости в аграрном секторе, что отражено в многочисленных исследованиях и публикациях.

Таблица 1 суммирует и систематизирует ключевые идеи из различных источников, касающиеся устойчивого развития аграрного сектора. В каждой библиографической записи освещены разнообразные стратегические направления и факторы, которые авторы рассматривают как важные для развития устойчивости сельскохозяйственных предприятий. Включение в анализ таких аспектов, как государственная поддержка, импортозамещение, инновационное развитие, проблемы рентабельности и цифровая трансформация, позволяет оценить многообразие подходов.

Анализ представленных авторских позиций по вопросам устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий показывает многоаспектность и сложность вопроса. Устойчивое развитие аграрного сектора зависит от множества факторов, включая государственную поддержку, технологическое и инновационное развитие, а также адаптацию к новым экономическим условиям, таким как импортозамещение и ответ на международные санкции [14].

Государственная поддержка и импортозамещение выделяются как ключевые элементы в стратегии устойчивого развития. Они не только способствуют укреплению внутреннего аграрного производства, но и создают предпосылки для повышения рентабельности и конкурентоспособности на внутреннем и международном уровнях.

Инновации и технологическое обновление, включая цифровую трансформацию, играют критическую роль в повышении эффективности и производительности, а также в сокращении издержек и минимизации воздействия на окружающую среду. Это подчеркивает важность инвестиций в развитие и внедрение новых технологий и методов управления.

Комплексное и устойчивое развитие сельскохозяйственных предприятий требуют интегрированного подхода, который включает поддержку со стороны государства, ориентацию на инновации и технологическое развитие, а также существенное улучшение жизненных условий в сельских районах. Эффективная реализация такого подхода предполагает согласованные действия всех заинтересованных сторон, включая правительственные учреждения, аграрный сектор и научно-исследовательские институты.

Термин «устойчивое развитие сельскохозяйственных предприятий» является ключевым в обсуждениях современных экологических, экономических и социальных дисциплин, отражая многоаспектность и сложность процессов, обеспечивающих долговременную эффективность аграрного сектора в динамично изменяющемся мире. Концепция охватывает комплекс практик, ориентированных на достижение баланса между экономическими, экологическими и социальными целями, обеспечивая тем самым устойчивое развитие [15; 18]. Устойчивое развитие направлено на поддержание

способности аграрных предприятий генерировать стабильный и адекватный доход, обеспечивающий их операционную деятельность и инвестиционные потребности в будущем. Это предполагает не только производственную эффективность, но и гибкость в адаптации к изменениям рыночной среды, ценовым колебаниям и мировым экономическим

тенденциям. Также устойчивость подразумевает минимизацию негативного влияния аграрной деятельности на окружающую среду и природные ресурсы, включая эффективное использование воды, сохранение плодородия почв, сокращение применения химических удобрений и пестицидов, а также поддержку биоразнообразия и защиту экосистем.

Таблица 1
Библиографический анализ проблемы

Авторы	Основная мысль
Н. М. Белоус, С. А. Бельченко, В. Е. Ториков и др. [6]	Устойчивый рост сельского хозяйства Брянской области благодаря господдержке и продуктивной работе, требуется развитие материально-технической базы с учетом сезонности
Е. А. Бессонова, О. Ю. Мерещенко [7]	Развитие сельского хозяйства Курской области в условиях импортозамещения, высокий потенциал для эффективного агропроизводства при господдержке
Э. Ф. Амирова [5]	Проблемы зернопродуктового подкомплекса в условиях продовольственного эмбарго и необходимость адаптации к новым условиям через теоретические и практические разработки
А. В. Буяров, В. С. Буяров [8]	Инновационное развитие мясного птицеводства как основа продовольственной безопасности России, необходимость технологической модернизации и импортозамещения
А. В. Кучумов, А. В. Белокопытов [17]	Динамическое развитие материально-технической базы аграрного сектора как условие устойчивости и стабильности сельского хозяйства
Ю. В. Зубарева [13]	Цифровая трансформация АПК как элемент устойчивого развития регионов, способствующая развитию человеческого капитала и прогрессу регионов
Д. И. Жилияков, Ю. В. Плахутина, В. Г. Зарецкая и др. [9]	Анализ производства и реализации продукции животноводства в Курской области, перспективы развития и проблемы отрасли
В. Е. Ториков, В. Ф. Васькин, Е. М. Подольникова, А. И. Потворов [23]	Проблемы и направления устойчивого развития сельских территорий, снижение численности сельского населения и занятости
Д. И. Жилияков [10; 16]	Эффективность и направления совершенствования господдержки аграрных предприятий, необходимость оптимизации государственной поддержки

Table 1
Bibliographic analysis of the problem

Authors	Main thought
N. M. Belous, S. A. Belchenko, V. E. Torikov, et al. [6]	Sustainable growth of agriculture in the Bryansk region thanks to state support and productive work requires the development of a material and technical base, taking into account seasonality
E. A. Bessonova, O. Yu. Mereshchenko [7]	Development of agriculture in the Kursk region in conditions of import substitution, high potential for effective agricultural production with state support
E. F. Amirova [5]	Problems of the grain product subcomplex under conditions of a food embargo and the need to adapt to new conditions through theoretical and practical developments
A. V. Buyarov, V. S. Buyarov [8]	Innovative development of poultry farming as the basis for food security in Russia, the need for technological modernization and import substitution
A. V. Kuchumov, A. V. Belokopytov [17]	Dynamic development of the material and technical base of the agricultural sector as a condition for the sustainability and stability of agriculture
Yu. V. Zubareva [13]	Digital transformation of the agro-industrial complex as an element of sustainable regional development, promoting the development of human capital and regional progress
D. I. Zhilyakov, Yu. V. Plakhutina, V. G. Zaretskaya, et al. [9]	Analysis of production and sales of livestock products in the Kursk region, development prospects and problems of the industry
V. E. Torikov, V. F. Vaskin, E. M. Podolnikova, A. I. Potvorov [23]	Problems and directions for sustainable development of rural areas, decline in rural population and employment
D. I. Zhilyakov [10; 16]	Efficiency and directions for improving state support for agricultural enterprises, the need to optimize state support

Устойчивое развитие акцентирует внимание на важности обеспечения благополучия и развития человеческих ресурсов, включая создание достойных условий труда, заботу о здоровье и безопасности работников, а также активное взаимодействие с местными сообществами через участие в социально значимых проектах. Интеграция данных компонентов требует от сельскохозяйственных предприятий формирования и реализации стратегий, которые учитывают как непосредственную экономическую выгоду, так и долгосрочные последствия для окружающей среды и общества. Возможные стратегии включают в себя инвестирование в новейшие технологии, переход на альтернативные источники энергии, создание замкнутых производственных циклов и формирование этических цепочек поставок.

В условиях глобализации устойчивое развитие также предполагает способность аграрных предприятий соответствовать международным стандартам, участие в глобальных экологических и социальных инициативах и развитие международных партнерств для обмена опытом и лучшими практиками.

Материалы и методы исследования (Methods)

В рамках исследования был применен интегрированный методологический подход, охватывающий разнообразные методы анализа.

Был проведен анализ научной литературы, который позволил провести аналитическую работу по изучению опубликованных научных статей, монографий, а также материалов, представленных на научных конференциях.

Также был проведен сравнительный анализ для оценки разнообразия моделей управления устойчивым развитием на сельскохозяйственных предприятиях в международном контексте. Этот метод позволил идентифицировать наиболее результативные практики и методы, применяемые в различных странах, и обозначить факторы, способствующие успешной адаптации и реализации данных подходов.

Анализ конкретных кейсов предоставил возможность детального изучения индивидуальных примеров успешной адаптации и применения стратегий устойчивого развития на отдельных сельскохозяйственных предприятиях.

Использование данных методов исследования позволило осуществить комплексный подход к анализу современных стратегий управления устойчивым развитием в аграрном секторе, выявить наиболее эффективные практики и определить ключевые барьеры на пути их реализации.

Анализ существующих моделей и подходов к управлению устойчивым развитием

Анализ существующих моделей и подходов к управлению устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий представляет собой клю-

чевую составляющую в изучении эффективности аграрного управления в условиях глобализации. Устойчивое развитие аграрного сектора находится на пересечении экологических, экономических и социальных аспектов, требующих комплексного и мультидисциплинарного подхода к управлению. В последние десятилетия разработано множество моделей и подходов, направленных на реализацию принципов устойчивости в сельском хозяйстве, которые отражают разнообразие условий и возможностей в различных регионах мира.

Проведем анализ эффективных практик управления устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий из различных стран. Цель составления таблицы – демонстрация разнообразия подходов и стратегий, применяемых в разных частях мира для достижения устойчивости в аграрном секторе. Представленные примеры подчеркивают важность инноваций, адаптации к местным условиям и вовлеченности в глобальные инициативы устойчивого развития.

На основе изучения мировых примеров управления устойчивым развитием аграрных предприятий можно сделать вывод о том, что ключевым аспектом является интеграция подхода к достижению устойчивости, охватывающая технологические инновации, рациональное использование природных ресурсов и активное взаимодействие с локальными сообществами. Необходимо учитывать, что важны адаптация к специфике региона и потребностям, а также необходимость непрерывного обучения с использованием новейших технологий.

Устойчивое развитие в аграрном секторе не только способствует сохранению экологии и улучшению качества жизни населения, но и приносит долгосрочную и осязаемую выгоду для субъектов управления и эксплуатации сельскохозяйственных предприятий, включая фермеров, агробизнесы, кооперативы и другие аграрные организации. Важно подчеркнуть, что стимулирование устойчивых практик требует международного и регионального партнерства для эффективного обмена знаниями и опытом в этой области.

Цифровые технологии и инновации являются ключевыми составляющими для обеспечения устойчивого функционирования аграрного сектора. Они играют важную роль в обеспечении экономической эффективности, социальной стабильности и экологического баланса. В современных условиях глобальные вызовы, такие как изменение климата, урбанизация и демографический рост, требуют принятия инновационных и технологических решений, которые могут помочь адаптироваться к ним и решить возникающие проблемы.

В число технологических инноваций входят разработка и внедрение новых продуктов, технологий и управленческих практик, которые способ-

ствуют совершенствованию производительности и устойчивости аграрных систем. При этом в список таких нововведений входят генетически модифицированные организмы, которые адаптированы к экстремальным условиям окружающей среды; эффективные методы рационального использования водных ресурсов и биологического контроля над вредителями.

Для того чтобы эффективно использовать цифровые технологии в аграрном секторе, необходимо их применять для сбора, обработки, хранения и распространения информации, которая имеет отношение к сельскохозяйственному производству [20; 21]. Он охватывает цифровые платформы, предназначенные для управления ресурсами и позволяющие контролировать ключевые агрономические показатели в реальном времени. Также он включает в себя системы дистанционного мониторинга, Интернет вещей и прецизионное земледелие.

Существует ряд трудностей, которые могут возникнуть при интеграции передовых технологий и

цифровых технологий в аграрный сектор. Это касается необходимости значительных начальных инвестиций, обучения и повышения квалификации работников, а также обеспечения цифровой безопасности и защиты данных. Несмотря на это, представляется весьма вероятным, что эти технологии могут помочь в преобразовании аграрного сектора, для того чтобы обеспечить его устойчивое развитие.

Проблемы и вызовы

В условиях современной экономики сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с многообразием вызовов, требующих от них адаптации и принятия комплексного, мультидисциплинарного подхода для достижения устойчивого развития.

Развитие международных рынков приводит к увеличению конкуренции, обязывая агропредприятия повышать качество и объемы производимой продукции при одновременном снижении производственных издержек, чтобы сохранить или улучшить свою конкурентоспособность на мировом рынке.

Таблица 2
Анализ подходов к устойчивому развитию

Подход	Описание
Интегрированный подход к устойчивому развитию	Один из ключевых подходов заключается в интеграции устойчивых практик во все аспекты управления сельскохозяйственными предприятиями. Это включает в себя адаптацию к изменению климата, рациональное использование природных ресурсов [22], минимизацию воздействия на окружающую среду и улучшение социальных условий труда. Интегрированный подход требует глубокого понимания экосистемных процессов, экономических механизмов и социальных взаимодействий, а также их взаимосвязей
Прецизионное земледелие	Прецизионное земледелие представляет собой технологический подход, основанный на использовании современных информационных и коммуникационных технологий для оптимизации процессов производства. Основная цель прецизионного земледелия – повышение эффективности и устойчивости агропроизводства за счет точного управления ресурсами, минимизации затрат и уменьшения экологического воздействия. Этот подход позволяет сельскохозяйственным предприятиям более рационально использовать удобрения, воду и другие ресурсы, снижая при этом отрицательное воздействие на окружающую среду
Органическое сельское хозяйство	Органическое сельское хозяйство является еще одной моделью, направленной на устойчивое развитие. Оно предполагает отказ от использования синтетических удобрений, пестицидов и ГМО в пользу природных методов ведения сельского хозяйства, таких как севооборот, использование органических удобрений и биологических методов борьбы с вредителями. Органическое земледелие способствует сохранению биологического разнообразия, улучшению качества почвы и воды, а также производству здоровой пищевой продукции
Системы управления экологической устойчивостью	Системы управления экологической устойчивостью, такие как сертификация по стандартам ISO 14001 или EMAS (экологическое управление и аудит) [24], предлагают рамки для интеграции экологических целей в бизнес-процессы. Эти системы помогают предприятиям систематически улучшать свою экологическую производительность через постановку конкретных целей, мониторинг достижений и регулярный аудит деятельности
Социальная ответственность и участие сообщества	Социальная ответственность и вовлеченность местных сообществ в процессы принятия решений также являются важными аспектами устойчивого развития. Модели, основанные на принципах социальной справедливости и равенства, способствуют улучшению условий труда, обеспечению достойной оплаты и развитию местных сообществ
Международные инициативы и партнерства	Участие в международных инициативах и партнерствах, таких как Глобальный договор ООН или Цели устойчивого развития, позволяет сельскохозяйственным предприятиям внедрять лучшие мировые практики устойчивого развития и способствует обмену знаниями и опытом на глобальном уровне

Analysis of approaches to sustainable development

<i>Approach</i>	<i>Description</i>
<i>An integrated approach to sustainable development</i>	<i>One key approach is to integrate sustainable practices into all aspects of farm management. This includes adaptation to climate change, sustainable use of natural resources, minimizing environmental impact and improving social working conditions. An integrated approach requires a deep understanding of ecosystem processes, economic mechanisms and social interactions, as well as their interrelationships</i>
<i>Precision farming</i>	<i>Precision farming is a technological approach based on the use of modern information and communication technologies to optimize production processes. The main goal of precision agriculture is to improve the efficiency and sustainability of agricultural production through precise management of resources, minimizing costs and reducing environmental impact. This approach allows agricultural enterprises to use fertilizers, water and other resources more efficiently, while reducing negative impacts on the environment</i>
<i>Organic farming</i>	<i>Organic farming is another model aimed at sustainable development. It involves eliminating the use of synthetic fertilizers, pesticides and GMOs in favor of natural farming methods such as crop rotation, organic fertilizers and biological pest control. Organic farming helps preserve biodiversity, improve soil and water quality, and produce healthy food products</i>
<i>Environmental Sustainability Management Systems</i>	<i>Environmental sustainability management systems, such as ISO 14001 or EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) certification, offer a framework for integrating environmental goals into business processes. These systems help businesses systematically improve their environmental performance through setting specific goals, monitoring progress and regularly auditing performance</i>
<i>Social responsibility and community involvement</i>	<i>Social responsibility and the involvement of local communities in decision-making processes are also important aspects of sustainable development. Models based on the principles of social justice and equality help improve working conditions, provide decent pay and develop local communities</i>
<i>International initiatives and partnerships</i>	<i>Participation in international initiatives and partnerships, such as the UN Global Compact or the Sustainable Development Goals, allows agricultural businesses to implement global best practices in sustainable development and facilitates the exchange of knowledge and experience at a global level</i>

Изменения климатических условий, характеризующиеся участвовавшими экстремальными погодными явлениями, такими как засухи и наводнения, ставят перед аграрными предприятиями задачу адаптации привычных практик и внедрения инновационных технологий, направленных на снижение возможных рисков.

Волатильность мировых цен на сельскохозяйственную продукцию и основные ресурсы подчеркивает значимость эффективного управления рисками для обеспечения финансовой стабильности аграрных предприятий.

Процессы урбанизации и рост экологических проблем приводят к уменьшению доступности земельных и водных ресурсов, что вынуждает сельскохозяйственные предприятия разрабатывать и применять более рациональные и эффективные методы их использования.

Ужесточающиеся требования к экологической и социальной ответственности от сектора производства обуславливают необходимость принятия и внедрения устойчивых методик ведения агробизнеса, а также получения соответствующих сертификатов, подтверждающих соответствие этим стандартам.

Интеграция современных технологий и инноваций является обязательным условием для повышения конкурентоспособности агропредприятий, однако это становится вызовом для мелких и сред-

них предприятий из-за высоких требований к инвестициям и необходимости обновления технологической базы.

Кроме того, наблюдаемый дефицит квалифицированных специалистов и тенденция миграции рабочей силы в городские районы ставят перед сельскохозяйственным сектором задачу по обеспечению нужного уровня производительности и поддержанию инновационного потенциала.

Ниже представлена таблица 4, иллюстрирующая основные факторы, влияющие на устойчивое развитие сельскохозяйственных предприятий, и рекомендуемые направления для адаптации и инноваций.

С учетом представленных в таблице факторов и направлений адаптации становится очевидной необходимость многоуровневой стратегии для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий. Эта стратегия должна включать в себя интеграцию новейших технологий, постоянное обучение и обмен знаниями между заинтересованными сторонами, а также создание устойчивых и адаптивных сельскохозяйственных систем. Только через совместные усилия государства, частного сектора, научного сообщества и всего общества можно достичь успеха в преодолении этих сложных задач и обеспечить благополучие будущих поколений.

Таблица 3

Кейс-стади подходов к устойчивому развитию сельского хозяйства в разрезе стран

Экономика

Страна	Практика	Описание
Нидерланды	Закрытые циклы водоснабжения	Внедрение системы переработки и повторного использования воды в теплицах для экономии ресурсов
Кения	Мобильные технологии для мониторинга погоды	Использование мобильных приложений для предоставления фермерам точных погодных прогнозов
Бразилия	Системы агролесоводства	Комбинация древесных культур с сельскохозяйственными для повышения урожайности и сохранения биоразнообразия
Дания	Ветровая энергия для сельского хозяйства	Использование ветряных электростанций на фермах для снижения зависимости от ископаемого топлива
Индия	Органическое земледелие	Переход на органические методы ведения сельского хозяйства для улучшения качества почвы и продукции
Новая Зеландия	Интегрированное управление вредителями	Применение биологических методов контроля вредителей и болезней вместо химических пестицидов
Германия	Цифровое земледелие	Внедрение цифровых технологий для точного управления ресурсами и оптимизации процессов на ферме
Япония	Прецизионное сельское хозяйство	Япония активно внедряет технологии прецизионного земледелия, включая использование спутниковой навигации и дронов для точного картографирования полей и оптимизации внесения удобрений и воды. Это позволяет сократить расходы на производство и минимизировать воздействие на окружающую среду, обеспечивая при этом высокую урожайность и качество продукции
США	Устойчивое управление водными ресурсами	В Соединенных Штатах большое внимание уделяется разработке и внедрению инновационных методов управления водными ресурсами на сельскохозяйственных предприятиях, особенно в условиях частых засух. Применение капельного орошения, систем повторного использования воды и точечного увлажнения позволяет эффективно использовать водные ресурсы, снижая их потребление и уменьшая негативное воздействие на экосистемы

Table 3

Key approaches to sustainable agricultural development by country

Country	Practice	Description
Netherlands	Closed water supply cycles	Implementation of a system for recycling and reusing water in greenhouses to save resources
Kenya	Mobile technologies for weather monitoring	Using mobile apps to provide farmers with accurate weather forecasts
Brazil	Agroforestry systems	Combination of tree crops with agricultural crops to increase productivity and preserve biodiversity
Denmark	Wind energy for agriculture	Using wind farms to reduce dependence on fossil fuels
India	Organic farming	Transition to organic farming methods to improve soil and produce quality
New Zealand	Integrated pest management	Use of biological methods to control pests and diseases instead of chemical pesticides
Germany	Digital farming	Implementation of digital technologies for precise management of resources and optimization of processes on the farm
Japan	Precision agriculture	Japan is actively implementing precision farming technologies, including the use of satellite navigation and drones to accurately map fields and optimize the application of fertilizers and water. This reduces production costs and minimizes environmental impact, while ensuring high yields and product quality
USA	Sustainable water management	In the United States, much attention is paid to the development and implementation of innovative methods of water management in agricultural enterprises, especially in conditions of frequent droughts. The use of drip irrigation, water reuse systems and spot humidification allows for efficient use of water resources, reducing their consumption and reducing the negative impact on ecosystems

Таблица 4
Факторы и направления адаптации для устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий

Факторы влияния	Вызовы	Направления адаптации и инновации
Глобальное изменение климата	Экстремальные погодные условия, уменьшение урожайности, распространение вредителей и болезней	Разработка устойчивых к климату сортов, передовые методы управления рисками
Экономические факторы	Глобальные рыночные колебания, цены на сырье и энергоресурсы, доступность финансирования	Экономические стимулы, государственная поддержка, инвестиции в инновации
Социальные факторы	Демографические изменения, урбанизация, изменение пищевых предпочтений	Устойчивое производство, ориентированное на изменяющийся спрос потребителей

Table 4
Factors and trends in the development of agricultural enterprises

Factors of influence	Challenges	Areas of adaptation and innovation
Global climate change	Extreme weather conditions, reduced yields, spread of pests and diseases	Development of climate-resistant varieties, advanced risk management methods
Economic factors	Global market fluctuations, prices of raw materials and energy resources, availability of financing	Economic incentives, government support, investment in innovation
Social factors	Demographic changes, urbanization, changing food preferences	Sustainable production focused on changing consumer demand

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В контексте глобализации и изменений климата аграрный сектор сталкивается с комплексом вызовов, требующих разработки и реализации адаптивных стратегий и управления рисками для обеспечения устойчивого развития (таблица 5).

Рассматривая решения для ключевых проблем аграрного сектора, необходимо выделить следующие направления.

Устойчивое развитие аграрных предприятий требует реализации комплексного подхода, сбалансированного по трем ключевым аспектам: экономической эффективности, экологической устойчивости и социальной ответственности. Новизна данного подхода заключается в глубокой интеграции и синергии этих аспектов с использованием последних достижений науки и практики, что позволяет аграрным предприятиям адаптироваться к текущим и будущим вызовам, обеспечивая их долгосрочное процветание.

Что касается показателей для оценки устойчивого развития, то следует учитывать следующие критерии:

Экономическая эффективность:

- 1) повышение производительности и рентабельности;
- 2) снижение операционных и производственных издержек;
- 3) увеличение доли возобновляемых источников энергии;

4) рост экономической стойкости к рыночным колебаниям.

Экологическая устойчивость:

- 1) снижение воздействия на окружающую среду (эмиссии, отходы);
- 2) эффективное использование водных и земельных ресурсов;
- 3) повышение биоразнообразия и сохранение природных экосистем.

Социальная ответственность:

- 1) улучшение условий труда и социального благополучия работников;
- 2) развитие социального взаимодействия с местными сообществами;
- 3) повышение уровня образования и профессиональной подготовки сотрудников.

Включение этих показателей в систему управления аграрным предприятием позволит не только оценить текущее состояние устойчивости, но и определить стратегические направления для дальнейшего развития и адаптации к изменяющимся условиям.

Адаптация и внедрение инноваций и современных технологий являются критически важными для улучшения производительности, рационального использования ресурсов и сокращения негативного влияния на окружающую среду. Также ключевое значение имеют инвестиции в научные исследования, разработку новых технологий, обучение и повышение квалификации сельскохозяйственных работников.

Таблица 5
Пути решения проблем

Экономика

Проблема	Путь решения
Усиление международной конкуренции	Диверсификация продукции и рынков сбыта, повышение качества и добавленной стоимости продукции
Изменение климата	Внедрение адаптированных к изменениям климата культур, разработка систем эффективного управления водными ресурсами
Волатильность цен на рынке	Разработка и применение финансовых инструментов для хеджирования рисков, включая фьючерсы и опционы на сельскохозяйственную продукцию
Ограниченный доступ к ресурсам	Повышение эффективности использования ресурсов через инновационные технологии, такие как капельное орошение и прецизионное земледелие
Требования к устойчивости и сертификации	Получение сертификатов устойчивости, участие в программах эколейблинга для повышения доверия потребителей и доступа на новые рынки
Необходимость инноваций	Инвестиции в НИОКР, сотрудничество с НИИ и стартапами для разработки и внедрения инноваций
Проблемы трудовых ресурсов	Обучение и повышение квалификации рабочей силы, использование автоматизированных и роботизированных систем для сокращения зависимости от человеческого труда
Продовольственная безопасность	Увеличение производственных мощностей через устойчивые методы ведения сельского хозяйства, улучшение логистики и хранения продукции

Table 5
Ways to solve problems

Problems	Solution path
Increased international competition	Diversification of products and markets, improving the quality and added value of products
Changing of the climate	Introduction of crops adapted to climate change, development of effective water management systems
Market price volatility	Development and application of financial instruments for hedging risks, including futures and options on agricultural products
Limited access to resources	Increasing resource efficiency through innovative technologies such as drip irrigation and precision farming
Sustainability and certification requirements	Obtaining sustainability certifications, participating in eco-labeling programs to increase consumer confidence and access to new markets
The need for innovation	Investments in R&D, cooperation with research institutes and startups to develop and implement innovations
Labor problems	Training and upskilling of the workforce, using automated and robotic systems to reduce dependence on human labor
Food security	Increasing production capacity through sustainable farming methods, improving logistics and storage of products

Эффективное управление рисками, необходимое для устойчивого развития, требует комплексного подхода, включающего приспособление к климатическим изменениям и экономическим колебаниям. Это включает в себя систематическое прогнозирование вероятных изменений и угроз, планирование и реализацию мер по их предотвращению или минимизации. Среди примеров мер по минимизации рисков можно выделить следующие:

1. Разработка и внедрение климатоустойчивых сортов растений, которые способны адаптироваться к изменяющимся условиям, например к более высоким или более низким температурам, засухе или избытку влаги.

2. Применение технологий точного земледелия, включая системы дистанционного зондирования и Интернет вещей для мониторинга состояния почв

и растений, что позволяет оптимизировать полив, удобрение и защиту растений.

3. Создание финансовых резервов и страхование урожая для компенсации потенциальных потерь от неблагоприятных погодных условий или колебаний цен на рынке.

4. Использование альтернативных источников энергии, таких как солнечная или ветровая энергия, для снижения зависимости от традиционных энергоресурсов и колебаний их стоимости.

В качестве адаптивных систем управления можно выделить:

1. Системы раннего предупреждения о погодных аномалиях, позволяющие аграрным предприятиям заблаговременно принимать меры для защиты урожая и ресурсов.

2. Гибкие системы финансирования, предоставляющие агропредприятиям возможность быстро получать доступ к необходимым ресурсам в случае экономических шоков или природных катастроф.

3. Платформы для обмена знаниями и опытом между агропредприятиями, научными организациями и правительственными агентствами, способствующие распространению инновационных практик и адаптивных технологий.

4. Включение этих мер и систем в стратегию управления аграрным предприятием значительно повышает его устойчивость к внешним вызовам, обеспечивая долгосрочное процветание и устойчивое развитие.

Кроме того, важно укреплять сотрудничество между государственными органами, частным сектором, научными учреждениями и местными сообществами для обмена знаниями, технологиями и лучшими практиками. Международное и региональное партнерство может обеспечить доступ к инновациям, рынкам и финансам, способствуя устойчивому развитию.

Наконец, активная роль государства в создании благоприятных условий для устойчивого развития сельскохозяйственного сектора через разработку и реализацию стимулирующих мер, субсидий и нормативных актов, направленных на поддержку устойчивых практик, является существенной для перехода к устойчивому аграрному производству.

Перспективы развития устойчивого управления в аграрном секторе тесно связаны с интеграцией новых технологий, развитием международного сотрудничества и усилением политической поддержки в области устойчивого развития. Важным направлением является также развитие человеческого капитала через обучение и повышение квалификации работников агросектора.

В качестве предложений для дальнейших исследований в данной области можем указать:

1. Анализ воздействия глобального изменения климата на сельскохозяйственное производство и разработка эффективных методов адаптации.

2. Анализ затрат и выгод от внедрения устойчивых технологий и методов управления, включая их долгосрочное влияние на экономическую устойчивость предприятий.

3. Разработка методик оценки социального воздействия сельскохозяйственной деятельности,

включая влияние на занятость, условия труда и местные сообщества.

4. Анализ потенциала цифровизации и применения новых технологий в аграрном секторе поможет определить наиболее перспективные направления для инвестиций и развития.

Устойчивое развитие сельскохозяйственных предприятий в условиях глобализации требует не только комплексного подхода, но и сотрудничества всех заинтересованных сторон, включая государственные органы, частный сектор, академическое сообщество и местные сообщества. Особенностью современной стратегии является акцент на интеграцию инновационных решений, которые разрабатываются на стыке различных научных дисциплин и практических знаний. Эти решения включают применение передовых технологий в области биотехнологии, информационных систем, устойчивого управления ресурсами и климатической адаптации. Дальнейшие исследования должны фокусироваться на разработке таких стратегий, которые будут способствовать не только адаптации к текущим вызовам, но и обеспечат гибкость перед лицом будущих изменений. Это требует новаторского синтеза знаний, которые способны трансформировать аграрный сектор, делая его не только устойчивым, но и способным динамично развиваться в ответ на глобальные и локальные изменения.

В настоящей статье разработан мультидисциплинарный методологический фреймворк, интегрирующий экономические, экологические и социальные аспекты управления устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий. Проведен критический анализ существующих моделей управления, предложена интеграция инновационных технологий с целью повышения экологической ответственности. Выполнен анализ показателей рентабельности, воздействия на окружающую среду и социальной ответственности, разработано табличное и графическое представление результатов исследования. На основе этого анализа были выявлены ключевые факторы успешного управления устойчивым развитием и предложены конкретные рекомендации. Обобщен международный опыт управления устойчивым развитием, разработаны рекомендации по улучшению управления устойчивым развитием, систематизированы лучшие практики для повышения устойчивости и конкурентоспособности аграрных предприятий.

Библиографический список

1. Agapitova L., Butorina G., Larionova N., Medvedeva L. Digital transformation of the agro-industrial complex as a transition to highly efficient production // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 390. Article number 03023. DOI: 10.1051/e3sconf/202339003023

2. Radko V. Information and analytical ensuring of dairy farming sustainable development in agricultural enterprises // Agribusiness Economics and Management. 2020. Vol. 1, No. 155. Pp. 120–128. DOI: 10.33245/2310-9262-2020-155-1-120-128.

3. Zhang J., Wang W. Responses of ecosystem multifunctionality to global change: progress, problem and prospect // *Chinese Journal of Plant Ecology*. 2021. Vol. 45, No. 10. Pp. 1112–1126. DOI: 10.17521/cjpe.2020.0074.
4. Trendov N. M., Varas S., Zeng M. *Digital Technologies in agriculture and rural areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. 26 p.
5. Амирова Э. Ф. Функционирование зернопродуктового подкомплекса в условиях продовольственного эмбарго // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13, № 1. С. 147–151. DOI: 10.12737/article_5afc1e968f2193.60952736.
6. Белоус Н. М., Бельченко С. А., Ториков В. Е. Развитие АПК Брянской области – 2020 // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 6 (82). С. 3–10.
7. Бессонова Е. А., Мерещенко О. Ю. Перспективы развития АПК в условиях реализации политики импортозамещения // *Вестник НГИЭИ*. 2016. № 9 (64). С. 64–73.
8. Буяров А. В., Буяров В. С. Приоритетные направления развития мясного птицеводства в России // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015. № 6 (128). С. 165–171.
9. Жилияков Д. И., Плахутина Ю. В., Зарецкая В. Г. Проблемы и перспективы развития отрасли животноводства в регионе // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 1. С. 97–105.
10. Жилияков Д. И. Анализ эффективности и направления совершенствования государственной поддержки аграрных предприятий // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2020. № 1 (25). С. 137–146.
11. Завгородняя А. С. Методика принятия решений в адаптивном управлении устойчивым развитием сельскохозяйственных предприятий // *Фундаментальные исследования*. 2020. № 9. С. 36–40. DOI: 10.17513/ft.42840.
12. Запорожцева Л. А., Лесных В. Р. Значение прибыли для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственного предприятия // *Финансовый вестник*. 2022. № 3 (58). С. 5–15.
13. Зубарева Ю. В. Цифровая трансформация АПК как элемент устойчивого развития региона // *International Agricultural Journal*. 2021. Т. 64, № 5. DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10369.
14. Колесникова Т. Г., Наумова Т. М., Смоленникова Л. В. Производительность труда как фактор устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий // *Сельское хозяйство*. 2021. № 4. С. 36–49. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.4.37544.
15. Кузнецова Н. А., Зинич Л. В. Вторичная переработка отходов как фактор устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий // *Фундаментальные исследования*. 2021. № 11. С. 120–124. DOI: 10.17513/ft.43132.
16. Кузьменко О. В., Сайтов В. В., Дьяченко В. М. Технологические инновации как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного предприятия в контексте его стратегического управления // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 11-3 (113). С. 174–177. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.109.
17. Кучумов А. В., Белокопытов А. В. Техникотехнологическое обеспечение сельхозтоваропроизводителей в условиях перехода к инновационной экономике // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31, № 12. С. 78–81.
18. Лантух А. А. Научные проблемы обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий в современных условиях // *Молодой ученый*. 2016. № 7 (111). С. 878–881.
19. Лебеденко Е. А., Христенко Е. В. Теоретические аспекты устойчивого развития сельскохозяйственного предприятия // *Стратегия предприятия в контексте повышения его конкурентоспособности*. 2021. № 10. С. 37–41.
20. Линькова Н. Н. Направления устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий в современных условиях // *Инновационное развитие экономики*. 2022. № 6 (72). С. 51–66. DOI: 10.51832/222379842022651.
21. Пизенгольд В. М., Мельников В. Ю., Новикова М. М. Методология организационно-экономического механизма финансово устойчивого развития в проблеме финансового состояния сельскохозяйственного предприятия // *Международный научный журнал*. 2019. № 1. С. 26–41.
22. Семенова А. Д. Обеспечение устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий в современных условиях // *Прогрессивные технологии развития*. 2017. № 11. С. 170–173.
23. Ториков В. Е., Васькин В. Ф., Подольникова Е. М., Потворов А. И. Динамика численности населения и занятости в сельской местности // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2. С. 110–117.
24. Хмельницкий В. Стратегия устойчивого развития промышленных и сельскохозяйственных предприятий как важнейший фактор эффективного функционирования // *Аграрная экономика*. 2019. № 1 (284). С. 2–9.

Об авторах:

Владимир Власович Сулимин, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2694-4352, AuthorID 518696. *E-mail: sulimin_usue@mail.ru*

Владислав Витальевич Шведов, кандидат исторических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2130-3273, AuthorID 579652. *E-mail: shvedoff@mail.ru*

Надежда Павловна Ларионова, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и управление АПК», Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0003-0758-7919, AuthorID 365259. *E-mail: Larionova_n_p@mail.ru*

References

1. Agapitova L., Butorina G., Larionova N., Medvedeva L. Digital transformation of the agro-industrial complex as a transition to highly efficient production. *E3S Web of Conferences*. 2023; 390: 03023.

2. Radko V. Information and analytical ensuring of dairy farming sustainable development in agricultural enterprises. *Agribusiness Economics and Management*. 2020; 1 (155): 120–128. DOI: 10.33245/2310-9262-2020-155-1-120-128.

3. Zhang J., Wang W. Responses of ecosystem multifunctionality to global change: progress, problem and prospect. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 2021. 45 (10): 1112–1126. DOI: 10.17521/cjpe.2020.0074.

25. Trendov N. M., Varas S., Zeng M. *Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. 26 p.

1. Amirova E. F. Functioning of the grain product sub-complex in the conditions of food embargo. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2018; 13 (1): 147–151. DOI: 10.12737/article_5afce968f2193.60952736. (In Russ.)

2. Belous N. M., Belchenko S. A., Torikov V. E., Belous I. N., Osipov A. A. Development of the Bryansk region agro-industrial complex – 2020. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2020; 6 (82): 3–10. (In Russ.)

3. Bessonova E. A., Mereschenko O. Yu. Prospects of agribusiness development in the conditions of implementation of the import substitution policy. *Bulletin NGIEI*. 2016; 9 (64): 64–73. (In Russ.)

4. Buyarov A. V., Buyarov V. S. The priority directions of meat poultry development in Russia. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015; 6 (128): 165–171. (In Russ.)

5. Zhilyakov D. I., Plakhutina Yu. V., Zaretskaya V. G. Problems and prospects for the development of the animal breeding industry in the region. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 1: 97–105. (In Russ.)

6. Zhilyakov D. I. Analysis of efficiency and directions of perfection of state support of agrarian enterprises. *Innovations in the Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects*. 2020; 1 (25): 137–146. (In Russ.)

7. Zavgorodnya A. S. Methods of decision-making in adaptive management of sustainable development of agricultural enterprises. *Fundamental Research*. 2020; 9: 36–40. DOI: 10.17513/fr.42840. (In Russ.)

8. Zaporozhtseva L. A., Lesnykh V. R. The importance of profit for ensuring the sustainable development of an agricultural enterprise. *Financial Bulletin*. 2022; 3 (58): 5–15. (In Russ.)

9. Zubareva Yu. V. Digital transformation of the agro-industrial complex as an element of sustainable development of the region. *International Agricultural Journal*. 2021; 64 (5). DOI: 10.24412/2588-0209-2021-10369. (In Russ.)

10. Kolesnikova T. G., Naumova T. M., Smolennikova L. V. Labor productivity as a factor of sustainable development of agricultural enterprises. *Agriculture*. 2021; 4: 36–49. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.4.37544. (In Russ.)

11. Kuznetsova N. A., Zinish L. V. Secondary waste processing as a factor of sustainable development of agricultural enterprises. *Fundamental Research*. 2021; 11: 120–124. DOI: 10.17513/fr.43132. (In Russ.)

12. Kuzmenko O. V., Saitov V. V., Dyachenko V. M. Technological innovations as a factor of sustainable development of an agricultural enterprise in the context of its strategic management. *International Research Journal*. 2021; 11-3 (113): 174–177. DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.109. (In Russ.)

13. Kuchumov A. V., Belokopytov A. V. Technical and technological supply of agricultural producers under conditions of transition to innovative economy. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017; 31 (12): 78–81. (In Russ.)

14. Lantukh A. A. Scientific problems of ensuring the sustainable development of agricultural enterprises in modern conditions. *Young Scientist*. 2016; 7 (111): 878–881. (In Russ.)

15. Lebedenko E. A., Khristenko E. V. Theoretical aspects of sustainable development of an agricultural enterprise. *Enterprise Strategy in the Context of Increasing Its Competitiveness*. 2021; 10: 37–41. (In Russ.)

16. Linkova N. N. Directions of sustainable development of agricultural enterprises in modern conditions. *Innovative Development of the Economy*. 2022; 6 (72): 51–66. DOI: 10.51832/222379842022651. (In Russ.)
17. Pizengolts V. M., Melnikov V. Yu., Novikova M. M. Methodology of the organizational and economical mechanism of financial sustainable development in the problem of the financial condition of agricultural enterprise. *International Scientific Journal*. 2019; 1: 26–41. (In Russ.)
18. Semenova A. D. Ensuring the sustainable development of agricultural enterprises in modern conditions. *Progressive Technologies of Development*. 2017; 11: 170–173. (In Russ.)
19. Torikov V. E., Vaskin V. F., Podolnikova E. M., Potvorov A. I. Dynamics of population and employment in rural areas. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 2019; 2: 110–117. (In Russ.)
20. Khmelnsky V. Strategy of sustainable development of industrial and agricultural enterprises as the most important factor of effective functioning. *Agrarian Economy*. 2019; 1 (284): 2–9. (In Russ.)

Authors' information:

Vladimir V. Sulimin, candidate of economic sciences, associate professor of the department of state and municipal administration, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2694-4352, AuthorID 518696. *E-mail: sulimin_usue@mail.ru*

Vladislav V. Shvedov, candidate of historical sciences, associate professor of the department of state and municipal administration, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2130-3273, AuthorID 579652. *E-mail: shvedoff@mail.ru*

Nadezhda P. Larionova, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics, organization and management of the agro-Industrial complex, Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0003-0758-7919, AuthorID 365259. *E-mail: Larionova_n_p@mail.ru*

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

В. С. Кухарь – кандидат экономических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

V. S. Kukhar – candidate of economic sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 10.09.2024 г. Усл. печ. л. 16,0. Авт. л. 13,4.

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

