



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 24, № 05
Vol. 24, No. 05**

2024

Сведения о редакционной коллегии

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

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В. С. Мымрин, ОАО «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. Самоделькин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)

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

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

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

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

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

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

Editorial board

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

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

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

Editorial Team

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

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

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

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

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

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

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

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

Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Содержание

Агротехнологии

Н. М. Королькова, Н. И. Черкашина, Е. В. Гусева 580
Посевные характеристики сельскохозяйственных культур при использовании инновационных комплексов удобрений

Ю. П. Логинов, А. А. Казак, С. Н. Яценко, А. С. Гайзатулин 593
Урожайность и качество зерна сортов пшеницы двуручек и раннеспелых озимых при разных сроках посева в северной лесостепи Тюменской области

А. И. Павлова 605
Оценка метеорологической засухи на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости

И. В. Семин 617
Результаты оценки совместимости сортов груши с карликовыми подвоями селекции ВНИИСПК для интенсивных технологий плодopоизводства в Центральной России

М. В. Черемисинoв, Г. А. Ренгартен 628
Использование биопрепаратов на яровом ячмене для ингибирования грибов рода *Fusarium*

Биология и биотехнологии

О. Ю. Баркова, Д. А. Старикова, И. В. Чистякова 637
Изучение влияния уровня экспрессии генов аквапоринов на качество семени быков голштинской породы

Л. Ф. Бекшенева, А. А. Реут 649
Изучение влияния гуминовых веществ на репродукцию и морфометрические параметры ирисов

М. И. Васильева, С. Л. Воробьева, С. И. Коконoв 661
Использование фитокомпозиции в пчеловодстве как экологический прием стимуляции жизнедеятельности и иммунного статуса медоносных пчел

Г. В. Ильина, Д. Ю. Ильин, А. А. Гришина, А. Р. Дашкина 670
Функциональный комплекс микроорганизмов на минеральном носителе для каскадной ферментативной деструкции отходов птицеводства

Экономика

Н. Ю. Трястына, Н. А. Трястын 682
Информационно-аналитические инструменты системы экологического менеджмента в агропредприятиях

К. В. Штоколова, О. С. Фомин 693
О факторах обеспечения урожаев подсолнечника в регионах России

Contents

Agrotechnologies

N. M. Korolkova, N. I. Cherkashina, A. V. Guseva
Investigation of the effect of new types of organic fertilizers on the sowing characteristics of agricultural crops

Yu. P. Loginov, A. A. Kazak, S. N. Yashchenko, A. S. Gayzatulin
Productivity and grain quality of two-handed wheat varieties and early-ripening winter crops at different sowing dates in the northern forest-steppe of the Tyumen region

A. I. Pavlova
Meteorological drought assessment based on standardized precipitation and evaporation index

I. V. Semin
The results of the evaluation of the compatibility of pear cultivars with dwarf rootstocks of VNIISPК breeding for intensive fruit production technologies in Central Russia

M. V. Cheremisinov, G. A. Rengarten
Use of biological products on spring barley to inhibit *Fusarium* fungi

Biology and biotechnologies

O. Yu. Barkova, D. A. Starikova, I. V. Chistyakova
Study of the expression level influence of aquaporin genes on the quality of semen of Holstein bulls

L. F. Beksheneva, A. A. Reut
Study of the influence of humic substances on the reproduction and morphometric parameters of irises

M. I. Vasilyeva, S. L. Vorobyeva, S. I. Kokonov
The use of phytocomposition in beekeeping as an ecological method for stimulating the vital activity and immune status of honey bees

G. V. Ilyina, D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina
Functional complex of microorganisms on mineral carrier for cascade enzymatic degradation of poultry waste

Economy

N. Yu. Tryastsina, N. A. Tryastyn
Information and analytical tools of the environmental management system in agricultural enterprises

K. V. Shtokolova, O. S. Fomin
On the factors of ensuring sunflower harvests in the regions of Russia

Посевные характеристики сельскохозяйственных культур при использовании инновационных комплексов удобрений

Н. М. Королькова, Н. И. Черкашина[✉], Е. В. Гусева

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

[✉]E-mail: cherkashina@sevsu.ru

Аннотация. Цель исследования – проанализировать эффективность использования полученных удобрений на посевные характеристики семян сельскохозяйственных культур тмина, моркови и кукурузы. **Методы.** Для получения органических удобрений на основе вермикомпоста (В) и куриного помета (КП) в разных концентрациях использована технология кавитационной обработки. Для выявления конкурентоспособности сравнивали эффективность влияния полученных органических удобрений на основе вермикомпоста и куриного помета с сертифицированными удобрениями «Сила Роста» и «Риверм». **Результаты и практическая значимость.** По результатам эксперимента были выявлены следующие закономерности: для семян моркови по признаку энергии прорастания и всхожести лучшие показатели достигнуты при обработке удобрением на основе вермикомпоста; для семян тмина по признаку энергии прорастания лучшие показатели достигнуты при обработке удобрением на основе куриного помета, а по всхожести более приоритетные результаты дали органические удобрения марок «Сила Роста» и вермикомпоста. Также были получены результаты по признаку прироста биомассы надземных органов и прирост длины корня, выявлены закономерности для предложенных концентраций куриного помета. **Научная новизна.** Получены органические удобрения на основе куриного помета, которые повышают энергию прорастания и всхожесть для моркови и тмина, а также обеспечивают наибольший прирост биомассы ростков для тмина и кукурузы, корней – для моркови и кукурузы. Удобрение из вермикомпоста характеризуется наибольшей эффективностью при оценке посевных качеств моркови.

Ключевые слова: вермикомпост, энергия прорастания, всхожесть, *Daucus carota* L., *Carum carvi* L., *Zea mays* L., прирост длины ростка, прирост длины корня

Для цитирования: Королькова Н. М., Черкашина Н. И., Гусева Е. В. Посевные характеристики сельскохозяйственных культур при использовании инновационных комплексов удобрений // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 580–592. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-580-592>.

Дата поступления статьи: 23.01.2024, **дата рецензирования:** 14.03.2024, **дата принятия:** 19.04.2024.

Sowing characteristics of agricultural crops using innovative fertilizer complexes

N. M. Korolkova, N. I. Cherkashina[✉], A. V. Guseva

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

[✉]E-mail: cherkashina@sevsu.ru

Abstract. The purpose of the study is to analyze the effectiveness of the use of the obtained fertilizers on the sowing characteristics of agricultural seeds. The article presents the results of a study on the effectiveness of the use of organic fertilizers on crops of cumin, carrots and corn. **Methods.** To obtain organic fertilizers based on vermicompost (V) and chicken droppings (CD) in different, cavitation treatment technology was used. To identify competitiveness, the effectiveness of the influence of the obtained organic fertilizers based on vermicompost and chicken manure was compared with certified fertilizers “Sila Rosta” and “Riverm”. **Results and practical signifi-**

cance. According to the results of the experiment, the following patterns were revealed: for carrot seeds, based on germination energy and germination, the best indicators were achieved when treated with a fertilizer based on vermicompost; for cumin seeds, based on germination energy, the best indicators were achieved when treated with a fertilizer based on chicken droppings, and organic fertilizers of the “Sila Rosta” and vermicompost brands gave priority to germination results. The results were also obtained on the basis of an increase in the biomass of aboveground organs and an increase in root length, patterns were revealed for the proposed concentrations of chicken droppings. **Scientific novelty.** The resulting organic fertilizer based on chicken droppings increases the germination energy and germination for carrots and cumin, and also provides the greatest increase in the biomass of sprouts for cumin and corn, and roots for carrots and corn. Fertilizer from vermicompost is characterized by the highest efficiency in assessing the sowing qualities of carrots.

Keywords: vermicompost, germination energy, germination, *Daucus carota* L., *Carum carvi* L., *Zea mays* L., growth of the sprout length, the increase in the length of the root

For citation: Korolkova N. M., Cherkashina N. I., Guseva E. V. Investigation of the effect of new types of organic fertilizers on the sowing characteristics of agricultural crops. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 580–592. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-580-592>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.01.2024, **date of review:** 14.03.2024, **date of acceptance:** 19.04.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Важными задачами сельскохозяйственной науки являются создание прочной кормовой базы, увеличение и восстановление плодородия почв. Повышенное внимание уделяется плодородию почвы как основе дальнейшего роста урожайности всех видов сельскохозяйственных культур [1; 2]. Наибольшее предпочтение отдают органическим удобрениям, в которых содержатся практически все виды минеральных веществ, необходимых для полноценного питания растений [2; 3]. Также ведутся исследования по влиянию концентрации различных видов удобрений для различных сельскохозяйственных культур и разработка новых органических удобрений [4; 5] со сравнительной оценкой экономической эффективности [5].

Рост и прогрессирование экологического земледелия, изучение влияния дозирования органических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур – актуальные задачи сельскохозяйственного производства. В настоящее время в агропромышленном комплексе активное развитие получило применение экологических чистых органических удобрений. Проводятся научные изыскания по влиянию различных удобрений на увеличение урожайности таких культур, как картофель, пшеница, ячмень, рис и кукуруза [6–9].

По данным национального органического союза Российской Федерации, рынок органических продуктов – один из самых динамично развивающихся в мире [10].

Для уменьшения негативного воздействия химических удобрений на окружающую среду замена их органическими удобрениями для производителей является оптимальным решением.

Применение удобрений органического типа в земледелии выполняет следующие функции:

- быстрое восстановление естественного плодородия почвы, улучшение ее структуры, поглотительной способности, обеспечение разнообразия почвенных микроорганизмов и органических веществ;
- сокращение сроков прорастания семян, ускорение роста и цветения растений, сокращение сроков созревания плодов на 2–3 недели;
- повышение иммунного статуса растений, их устойчивость к стрессовым ситуациям, комплексу грибных болезней;
- обеспечение высокой приживаемости саженцев и рассады;
- значительное повышение урожайности и улучшение органолептических свойств (вкус, окраска, аромат и др.) выращиваемой сельскохозяйственной продукции;
- связывание в почве соединений тяжелых металлов и радионуклидов;
- повышение засухоустойчивости растений;
- решение задач по утилизации отходов птицеводческих хозяйств.

Цель работы – описать способ создания новых видов органических удобрений; оценить эффективность применения удобрений для различных видов сельскохозяйственных культур.

Объектом исследования являются семена сельскохозяйственных культур (*Daucus carota* L., *Carum carvi* L., *Zea mays* L.).

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в Центре коллективного пользования «Перспективные технологии и материалы» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в лабораторных условиях согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» с соблю-

дением всех условий подготовки, проращивания и оценки энергии прорастания и всхожести.

В ходе выполнения работы были получены новые виды органических удобрений на основе вермикомпоста и птичьего помета в разных концентрациях. При приготовлении удобрений применялись кавитационные эффекты [11; 12].

Для исследования влияния концентрации удобрений на посевные качества сельскохозяйственных культур и определения оптимального состава органического удобрения концентраты готовились в двух соотношениях твердой и жидкой фазы (1 : 10 и 1 : 5). Для этого навески исходного сырья (птичий помет и вермикомпост) массой 200 и 400 г разбавлялись бидистиллированной водой и доводились до объема 2 л. Далее полученные растворы выдерживались в постоянных условиях при температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст. в течение 14 дней.

Для получения органического удобрения растворы обрабатывались на кавитационной установке «Активатор-Gd». Время экспозиции составляло 15 минут при частоте от 30 Гц [13].

Для определения состава минеральной части сырья использовали спектроскан МАКС-GVM, при этом субстрат не подвергался предварительной обработке (термической, обеззараживающей или иной), что позволяло предотвратить потери минеральных компонентов [14].

Для идентификации органических удобрений была введена следующая маркировка:

КП-2, КП-4 – органическое удобрение лабораторного приготовления на основе куриного помета разной концентрации (КП-2 – 200 г куриного помета на 2 л воды, КП-4 – 400 г куриного помета на 2 л воды).

В-2, В-4 – органическое удобрение лабораторного приготовления на основе вермикомпоста разной концентрации (В-2 – 200 г вермикомпоста на 2 л воды, В-4 – 400 г вермикомпоста на 2 л воды).

СР – органические удобрения марки «Сила Роста».

Р – органические удобрения марки «Риверм».

Основная сложность при разработке технологий для получения высококачественных удобрений заключается в выборе метода и технологического воздействия. Кавитационная обработка благодаря локальному механическому и температурному воздействию производит обеззараживающий эффект на патогенную микрофлору сырья, в том числе уничтожает яйца гельминтов [15–17].

В ходе эксперимента готовые препараты (КП-2, КП-4, В-2, В-4) и используемые для сравнения удобрения (СР, Р) были разведены дистиллированной водой в соотношении 1 : 25.

Оценка эффективности применения новых видов удобрения проводилась с помощью определения энергии прорастания семян и всхожести вы-

бранных сельскохозяйственных культур [18; 19]. Эксперимент был проведен в четырехкратной повторности. Для каждой серии отбиралось по 100 семян моркови и тмина и по 50 семян кукурузы. В качестве контрольной пробы использовалась бидистиллированная вода.

Для сравнения эффективности влияния разработанных органических удобрений не использовали сертифицированные удобрения «Сила Роста» и «Риверм» полученные на основе вермикомпоста.

Препарат «Риверм» признан международной организацией System of Independent Certification (SIC) экологически чистым удобрением, соответствующим международному стандарту ISO 14024:1999.

Семена проращивали в условиях, предусмотренных приложением 1 ГОСТ 12038-84. В термостатах поддерживали установленную температуру, проверяя ее три раза в день: утром, в середине дня и вечером; она не должна отклоняться более чем на 2 °С.

Проращивание семян при переменных температурах 20–30 °С осуществлялось путем переключения терморегулятора с низкой температуры на высокую или с высокой на низкую. Поскольку переменную температуру не контролировали в выходные дни, семена проращивали при более низкой из двух указанных в приложении 1 ГОСТ 12038-84 температур. Проверяли состояние увлажненности ложа ежедневно, при необходимости смачивали его водой или удобрением комнатной температуры, не допуская переувлажнения. Обеспечивали постоянную вентиляцию в термостатах. Ежедневно на несколько секунд приоткрывали крышки чашек Петри. Воду в поддоне на дне термостата меняли через каждые 3–5 суток.

Оценку и учет проросших семян при определении энергии прорастания и всхожести проводили в сроки, указанные в приложении 1 ГОСТ 12038-84. При этом день закладки семян на проращивание и день подсчета энергии прорастания или всхожести считали за одни сутки.

Для моркови определение энергии прорастания производилось на 5-е сутки, а всхожесть оценивалась на 10-е сутки после закладки; для тмина – на 7-е и 14-е сутки; для кукурузы – на 4-е и 7-е сутки.

Результаты (Results)

Результаты качественного и количественного состава минеральной части представлены в таблице 1.

Также был изучен состав органической части куриного помета и вермикомпоста, а именно определялся количественный состав фульвокислот и гуминовых кислот [20].

Предварительно у исследуемого сырья определяли влажность по методике, указанной в ГОСТ 26713-85 [21], затем его полностью высушивали и анализировали состав согласно стандартам [22–25]. Для определения состава минеральной части

Таблица 1
Состав минеральной части

Содержание минерального компонента	Куриный помет	Вермикомпост
MgO, %	0,61	1,51
Al ₂ O ₃ , %	2,44	5,11
SiO ₂ , %	13,25	15,71
P ₂ O ₅ , %	3,38	2,59
K ₂ O, %	7,49	3,00
CaO, %	3,30	9,24
TiO ₂ , %	0,22	0,27
Fe ₂ O ₃ , %	2,02	4,96
V, мг/кг	35,34	32,49
Cr, мг/кг	22,81	70,03
MnO, мг/кг	1723,86	733,87
Co, мг/кг	5,43	78,07
Ni, мг/кг	60,94	95,05
Cu, мг/кг	17,89	35,99
Zn, мг/кг	135,92	194,98
Sr, мг/кг	172,77	226,08
Pb, мг/кг	0,13	18,31

Table 1
Composition of the mineral part

<i>The content of the mineral component</i>	<i>Chicken droppings</i>	<i>Vermicompost</i>
<i>MgO, %</i>	<i>0.61</i>	<i>1.51</i>
<i>Al₂O₃, %</i>	<i>2.44</i>	<i>5.11</i>
<i>SiO₂, %</i>	<i>13.25</i>	<i>15.71</i>
<i>P₂O₅, %</i>	<i>3.38</i>	<i>2.59</i>
<i>K₂O, %</i>	<i>7.49</i>	<i>3.00</i>
<i>CaO, %</i>	<i>3.30</i>	<i>9.24</i>
<i>TiO₂, %</i>	<i>0.22</i>	<i>0.27</i>
<i>Fe₂O₃, %</i>	<i>2.02</i>	<i>4.96</i>
<i>V, mg/kg</i>	<i>35.34</i>	<i>32.49</i>
<i>Cr, mg/kg</i>	<i>22.81</i>	<i>70.03</i>
<i>MnO, mg/kg</i>	<i>1723.86</i>	<i>733.87</i>
<i>Co, mg/kg</i>	<i>5.43</i>	<i>78.07</i>
<i>Ni, mg/kg</i>	<i>60.94</i>	<i>95.05</i>
<i>Cu, mg/kg</i>	<i>17.89</i>	<i>35.99</i>
<i>Zn, mg/kg</i>	<i>135.92</i>	<i>194.98</i>
<i>Sr, mg/kg</i>	<i>172.77</i>	<i>226.08</i>
<i>Pb, mg/kg</i>	<i>0.13</i>	<i>18.31</i>

сырье анализировалось на спектрокане МАКС-GVM [14]. Общие результаты анализа исходного сырья получены для доверительной вероятности $P = 0,95$ % и представлены в таблице 2.

Преобладание фульвовых кислот способствует увеличению размеров клеточных пор корневой системы растений, что приводит к активному поглощению питательных веществ. Эти кислоты принимают активное участие в нейтрализации содержащихся в почве токсинов и обладают антиоксидантными свойствами [27]. Как видно из таблицы, установлено, что куриный помет по содержанию гуми-

новых кислот превосходит вермикомпост почти в 2,5 раза и фульвокислот в 1,2 раза соответственно.

Ко всхожим относили нормально проросшие семена. При учете энергии прорастания (рис. 1) подсчитывали только нормально проросшие и удаляли явно загнившие семена, а при учете всхожести отдельно подсчитывали нормально проросшие, набухшие, твердые, загнившие и ненормально проросшие семена.

Всхожесть и энергию прорастания семян вычисляли в процентах. За результат анализа принимали среднее арифметическое результатов определения всхожести всех проанализированных проб.

Таблица 2
Состав исходного сырья

Сырье	pH	Влажность, %	Минеральная часть, %	Доля органики, %	Доля фульвокислот, %	Доля гуминовых кислот, %
Куриный помет (усушенный продукт)	6,1	24,4	35,4	64,6	4,3	0,5
Вермикомпост (влажный продукт)	6,2	75,3	45,2	54,8	3,7	0,2

Table 2
The composition of the feedstock

Raw materials	pH	Humidity, %	Mineral part, %	Share of organic matter, %	The proportion of fulvic acids, %	The proportion of humic acids, %
Chicken droppings (dried product)	6.1	24.4	35.4	64.6	4.3	0.5
Vermicompost (wet product)	6.2	75.3	45.2	54.8	3.7	0.2



Рис. 1. Семена тмина с использованием КП-2 на 5-й день проращивания
Fig. 1. Cumin seeds using CD-2 on the 5th day of germination

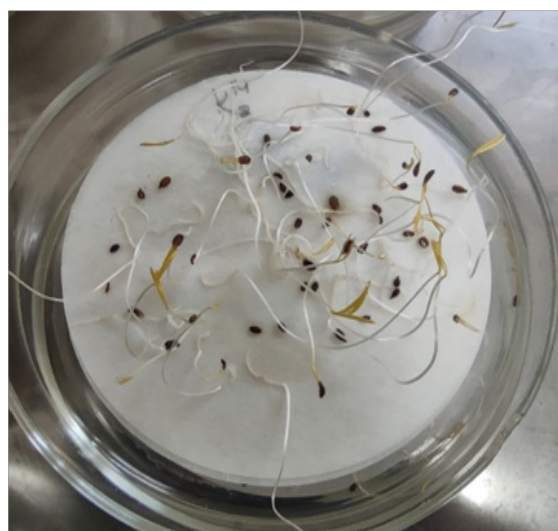


Рис. 2. Контрольная проба семян моркови на 10 день проращивания
Fig. 2. Control sample of carrot seeds on the 10th day of germination

Качественный и количественный подсчет исследуемых семян проводился в дни, прописанные в приложении 1 ГОСТ 12038-84 [18]. Результаты исследования оценивались в соответствии с ГОСТ Р ИСО 21748-2021 [26] и представлены в таблице 3.

Семена кукурузы во всех сериях уже к 1-му дню подсчетов показали стопроцентную всхожесть, что сделало невозможной дальнейшую оценку данной культуры по избранным критериям.

Запаренных, пустых и ненормально проросших не наблюдалось в процессе эксперимента.

По результатам исследования можно сделать выводы:

1) для семян моркови по признаку энергии прорастания и всхожести лучшие показатели были достигнуты при обработке удобрением на основе вермикомпоста в концентрации 200 г на 2 л воды (55 % и 67 % соответственно);

2) для семян тмина по признаку энергии прорастания лучшие показатели были достигнуты при обработке удобрением на основе КП-2 и КП-4 и составили 22 %, а по всхожести более приоритетные результаты дали органические удобрения марок «Сила Роста» (55,3 %) и вермикомпост в концентрации 200 г на 2 литра воды (52 %).

Также в день определения всхожести (рис. 2) пророщенных семян были проведены измерения длин корней и ростков для оценки прироста биомассы под влиянием исследуемых удобрений. Результаты измерений представлены в таблице 4.

По признаку прироста биомассы надземных органов лидирует влияние удобрения на основе куриного помета КП-4 для кукурузы (34,6 %), КП-2 для тмина (59,2 %), а для моркови – «Риверм» (67,0 %) и КП-4 (52,7 %).

Влияние удобрений на энергию прорастания и всхожесть

Показатели	К	КП-2	КП-4	СР	Р	В-2	В-4
Тмин							
Энергия прорастания, %	14	23	22	17	17	15	18
Всхожесть, %	42	46	46	55	51	52	47
Число непроросших семян, шт.	58	54	54	45	50	48	54
Из числа непроросших:							
Здоровых	51	47	44	40	44	38	48
Загнивших	7	7	8	5	6	10	6
Поврежденных вредителями	–	–	2	–	–	–	–
Морковь							
Энергия прорастания, %	49	50	46	54	54	55	43
Всхожесть, %	55	55	48	59	62	67	58
Число непроросших семян, шт.	45	47	53	42	39	33	42
Из числа непроросших:							
Здоровых	37	41	40	35	22	28	31
Загнивших	7	6	13	7	17	5	8
Поврежденных вредителями	1	–	–	–	–	–	3

Table 3

The effect of fertilizers on germination energy and germination

Indicators	C	CD-2	CD-4	SR	R	V-2	V-4
Cumin							
Germination energy %	14	23	22	17	17	15	18
Germination %	42	46	46	55	51	52	47
The number of seeds that have unsprouted, pieces	58	54	54	45	50	48	54
From among the unsprouted:							
Healthy	51	47	44	40	44	38	48
Rotten	7	7	8	5	6	10	6
Damaged by pests	–	–	2	–	–	–	–
Carrot							
Germination energy %	49	50	46	54	54	55	43
Germination %	55	55	48	59	62	67	58
The number of seeds that have unsprouted, pieces	45	47	53	42	39	33	42
From among the unsprouted:							
Healthy	37	41	40	35	22	28	31
Rotten	7	6	13	7	17	5	8
Damaged by pests	1	–	–	–	–	–	3

По влиянию выбранных образцов на прирост длины корня наилучшие результаты получены с применением удобрений на основе куриного помета КП-2: для моркови – 55,4 %; для тмина – 20,5 %; а для кукурузы КП-4 – 75,4 %.

Обобщение результатов многосерийного эксперимента позволило проранжировать эффективность исследуемых удобрений для каждой культуры по двум критериям:

– повышение показателей энергии прорастания и всхожести, представленное в таблице 5;

– прирост биомассы ростков и корней на этапе проращивания, представленный в таблицах 6, 7, 8.

Исходя из оценки прироста биомассы семян на этапе проращивания, можно сделать вывод о том,

что использование удобрения на основе куриного помета в концентрации 400 и 200 г на 2 л воды привело к наилучшим показателям для культуры *Carum carvi* L. по сравнению с другими видами удобрений. Однако по всхожести получено значение на несколько единиц больше для удобрения «Сила Роста». Для культуры *Daucus carota* L. наилучшие показатели получены с использованием органического удобрения на основе вермикомпоста с концентрацией 200 г, а вторые по величине значения получены для «Силы Роста». Следовательно, эти два вида органических удобрений КП-2 и В-2 являются конкурентоспособными.

Прирост биомассы ростков и корней на этапе проращивания представлен в таблице 6.

Таблица 4

Прирост длин корня/ростка по отношению к контрольной серии

Параметры	КП-2	КП-4	СР	Р	В-2	В-4
Кукуруза						
Прирост длины ростка, %	14,76	34,6	1,9	27,2	-3,1	5,4
Прирост длины корешка, %	38,11	75,4	52,4	15,4	30,4	43,5
Тмин						
Прирост длины ростка, %	59,2	33,3	41,2	7,4	21,8	47,4
Прирост длины корешка, %	20,5	9,1	27,9	11,5	-7,9	8,6
Морковь						
Прирост длины ростка, %	32,6	52,7	47,7	67,0	20,7	23,5
Прирост длины корешка, %	55,4	20,6	29,1	14,6	13,5	37,54

Table 4

Growth of root/sprout lengths in relation to the control series

Parameters	C	CD-4	SR	R	V-2	V-4
Corn						
Sprout length gain, %	14.76	34.6	1.9	27.2	-3.1	5.4
Spine length gain, %	38.11	75.4	52.4	15.4	30.4	43.5
Cumin						
Sprout length gain, %	59.2	33.3	41.2	7.4	21.8	47.4
Spine length gain, %	20.5	9.1	27.9	11.5	-7.9	8.6
Carrot						
Sprout length gain, %	32.6	52.7	47.7	67.0	20.7	23.5
Spine length gain, %	55.4	20.6	29.1	14.6	13.5	37.54

Таблица 5

Рейтинг эффективности удобрений по влиянию на энергию прорастания и всхожесть

Рейтинг эффективности удобрений		
	Тмин	Морковь
I место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 200 грамм (В-2)
II место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)	жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста» (СР)
III место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 грамм (В-4)	Жидкое органическое удобрение «Риверм» (Р)
IV место	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста» (СР)	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)
V место	Жидкое органическое удобрение «Риверм» (Р)	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)
VI место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 200 г (В-2)	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)

Table 5

Rating of fertilizer efficiency by its effect on germination energy and germination

Fertilizer efficiency rating		
	Cumin	Carrot
1st place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 200 g (V-2)
2nd place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta" (SR)
3rd place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)	Liquid organic fertilizer "Riverm" (R)
4th place	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta" (SR)	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)
5th place	Liquid organic fertilizer "Riverm" (R)	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)
6th place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 200 g (V-2)	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)

По результатам, представленным в таблице 6, можно сделать неоднозначные выводы: в целом ни одно из удобрений не является лидером для обеих ростовых характеристик. Только три органических удобрения дали значения более 50 % либо по приросту корешка, либо по приросту ростка: «Сила Роста», «Риверм», КП-4.

Для культуры *Carum carvi* L. лидером можно назвать удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2).

Как видно из таблицы 8, для сельскохозяйственной культуры кукурузы наилучшие результаты показало удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4) по обеим ростовым характеристикам.

В связи с тем, что лабораторным путем была доказана эффективность использования удобрений, есть смысл в разработке производственной технологии их приготовления.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе работы были исследованы два новых вида органического удобрения на основе отходов птицеводческих хозяйств и вермикомпоста с применением кавитации, что позволило исключить наличие патогенной флоры [16; 17] и получить био-

логически активное удобрение высокой производительности.

Оценена возможность применения разработанных удобрений: учитывали влияние на посевные характеристики (энергию прорастания и всхожесть), а также прирост биомассы корешка и ростка пророщенных семян.

Определение всхожести и энергии прорастания позволило установить, что максимальный стимулирующий эффект для моркови наблюдался при замачивании семян удобрением на основе вермикомпоста (В-2): 55 % и 67 % соответственно. Для семян тмина по признаку энергии прорастания лучшие показатели были достигнуты при обработке удобрением на основе КП-2 и КП-4 и составили 22 %, а по всхожести более приоритетные результаты дали органические удобрения марок «Сила Роста» (55,3 %) и В-2 (52 %).

Семена кукурузы характеризовались прекрасной всхожестью и энергией прорастания (100 %) во всех опытных вариантах. Однако биометрические параметры проростков при обработке семян кукурузы удобрением КП-4 превышали контрольные величины на 34,6 % (длина ростка) и на 75,4 % (длина корешка).

Таблица 6
Рейтинг эффективности удобрений по влиянию на ростовые характеристики культуры *Daucus carota* L.

Рейтинг эффективности удобрений		
	Росток	Корень
I место	Жидкое органическое удобрение «Риверм»	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)
II место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)
III место	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста»	
IV место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)
V место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)	Жидкое органическое удобрение «Риверм»
VI место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 200 г (В-2)	

Table 6
The rating of the effectiveness of fertilizers by their effect on the growth characteristics of the crop *Daucus carota* L.

Fertilizer efficiency rating		
	Sprout	Root
1st place	Liquid organic fertilizer "Riverm"	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)
2nd place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 grams (CD-4)	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)
3rd place	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta"	
4th place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)
5th place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)	Liquid organic fertilizer "Riverm"
6th place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 200 g (V-2)	

Таблица 7
Рейтинг эффективности удобрений по влиянию на ростовые характеристики культуры *Carum carvi* L.

Рейтинг эффективности удобрений		
	Росток	Корень
I место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста»
II место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)
III место	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста»	Жидкое органическое удобрение «Риверм»
IV место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)
V место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 200 г (В-2)	
VI место	Жидкое органическое удобрение «Риверм»	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)

Table 7
The rating of the effectiveness of fertilizers by their effect on the growth characteristics of the crop *Carum carvi* L.

Fertilizer efficiency rating		
	Sprout	Root
1st place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta"
2nd place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)
3rd place	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta"	Liquid organic fertilizer "Riverm"
4th place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)
5th place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 200 g (V-2)	
6th place	Liquid organic fertilizer "Riverm"	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)

Таблица 8
Рейтинг эффективности удобрений по влиянию на ростовые характеристики культуры *Zea mays* L.

Рейтинг эффективности удобрений		
	Росток	Корень
I место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 400 г (КП-4)	
II место	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста»
III место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 400 г (В-4)	
IV место	Жидкое гуминовое удобрение «Сила Роста»	Удобрение на основе куриного помета в концентрации 200 г (КП-2)
V место	Удобрение на основе вермикомпоста в концентрации 200 г (В-2)	
VI место	Жидкое органическое удобрение «Риверм»	

Table 8
The rating of the effectiveness of fertilizers by their effect on the growth characteristics of the crop *Zea mays* L.

Fertilizer efficiency rating		
	Sprout	Root
1st place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 400 g (CD-4)	
2nd place	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta"
3rd place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 400 g (V-4)	
4th place	Liquid humic fertilizer "Sila Rosta"	Fertilizer based on chicken droppings in a concentration of 200 g (CD-2)
5th place	Fertilizer based on vermicompost in a concentration of 200 g (V-2)	
6th place	Liquid organic fertilizer "Riverm"	

Исследование проростков моркови показало, что изучаемые удобрения благоприятно влияли на развитие семян при замачивании. Длина проростка увеличивалась на 52,7 и 67 % при обработке удобрениями КП-4 и Р соответственно. а длина корешка – на 55,4 % при КП-2.

При изучении влияния всех удобрений на развитие проростков тмина было установлено, что при обработке КП-2 длина проростков увеличилась на

59,2 %, а длина корешков – на 20,5 %. Обработка удобрением СР привела к увеличению этих показателей на 41,2 % (проростки) и на 27,9 % (корешки).

Полученные результаты позволяют констатировать, что исследованные препараты сопоставимы по своей эффективности и их можно рекомендовать для предпосевной обработки различных сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Невзоров М. А., Невзоров А. И. Минеральные и органические удобрения как фактор повышения плодородия почв при выращивании кукурузы на силос // Наука и образование. 2020. Т. 3, № 3. С. 308–316.
2. Капустин В. П., Родионов Ю. В., Скоморохова А. И. Повышение качества органических удобрений – основа урожаев сельскохозяйственных культур // Наука в центральной России. 2021. Т. 4, № 52. С. 17–25. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-4-17-25.
3. Чернов С. А., Матвеев В. В. Органические удобрения как фактор нейтрализации угрозы продовольственной инфляции // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2021. Т. 16, № 4. С. 1748–1752.
4. Вокосов З. К., Каноатов Х. М., Мехманов Б. И., Ортигалиева У. Р. Разработка и исследование эффективности органических удобрений // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2022. Т. 12, № 105. С. 14768–14774. DOI: 10.32743/UniTech.2022.105.12.14768.
5. Коновалова Л. К. Экономическая эффективность применения органических удобрений в различных условиях производства // Аграрный вестник Верхневолжья. 2020. № 1. С. 120–124. DOI: 10.35523/2307-5872-2020-30-1-120-124.
6. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г., Иванова О. В. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и показатели качества клубней картофеля // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 409–416. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.409-416.
7. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 1. С. 58–65. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65.
8. Прокина Л. Н., Пугаев С. В. Использование макро- и микроудобрений в посевах ячменя в полевом севообороте на черноземе выщелоченном // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 3. С. 440–447. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.440-447.
9. Шеуджен А. Х., Гуторова О. А., Бондарева Т. Н. [и др.] Влияние минеральных и органических удобрений на рост и развитие растений риса // Рисоводство. 2022. Т. 2, № 55. С. 57–62. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-57-62.
10. Мироненко О. В. Органический рынок России: состояние и перспективы. Национальный органический союз // Переработка молока. 2017. Т. 7, № 213. С. 48–53.
11. Наприенко А. А. Кавитация [Электронный ресурс] // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярск. Красноярск, 2013. С. 16–20. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/10929?ysclid=lnhe3smzbq16317043> (дата обращения: 10.01.2024).
12. Ковальчук А. Н., Лефлер Т. Ф., Строганова И. Я. [и др.] Технология обеззараживания свиного навоза // Вестник КрасГАУ. 2017. № 11. С. 71–79.
13. Руководство пользователя. Гидродинамическая мельница-кавитатор «Активатор-Gd» [Электронный ресурс]. 2022. URL: <http://www.activator.ru/AcGd.html> (дата обращения: 10.01.2024).
14. Руководство пользователя. СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://spectronxray.ru/devices/spektrometers/spectroscan-maks-gv> (дата обращения: 10.01.2024).
15. Zupanc M., Pandur Ž., Stepišnik Perdih T., Stopar D., Petkovšek M., Dular M. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 57. Pp. 147–165. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.05.009.
16. Пат. 2 735 961 Рос. Федерация: МПК C05F 3/00/B82B3/00/B82Y40/00/ Кавитационный способ обеззараживания жидких органических отходов и приготовления органоминеральных удобрений [Электронный ресурс] / Костенко М. Ю. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Рязанский государствен-

ный агротехнологический университет имени П. А. Костычева». N 2019138106; заявл. 25.11.2019 ; опублик. 11.11.2020, Бюл. N32. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2735961C1.pdf> (дата обращения: 10.01.2024).

17. Komarova E. V., Slabunova A. V., Kharitonov S. E. Applying the cavitation effect in animal wastewater treatment [Электронный ресурс] // Ecology and water management. 2021. Vol. 3, No. 2. Pp. 61–74. URL: https://www.researchgate.net/publication/352482439_APPLYING_THE_CAVITATION_EFFECT_DURING_ANIMAL_WASTEWATER_TREATMENT (дата обращения: 10.01.2024).

18. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Стандартинформ, 2020. 40 с.

19. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб. Москва: Стандартинформ, 2020. 14 с.

20. Каллас Е. В., Новикова А. С., Валиевич Т. О. Определение количественных и качественных характеристик гумуса различными методами и интерпретация полученных результатов: методические указания. Томск: Томский государственный университет, 2020. 55 с.

21. ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка [Электронный ресурс]. Москва: Госстандарт, 1985. 6 с.

22. ГОСТ 26712-94. Удобрения органические. Общие требования к методам анализа. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1994. 12 с.

23. ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. Москва: Госстандарт, 1988. 11 с.

24. ГОСТ 31461-2012. Помет птицы. Сырье для производства органических удобрений [Электронный ресурс]. Москва: Стандартинформ, 2020. С. 6.

25. ГОСТ Р 56004-2014. Удобрения органические. Вермикомпосты. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020. 12 с.

26. ГОСТ Р ИСО 21748-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. 36 с.

27. Косенко С. В., Плужникова И. И. Влияние биоудобрения «АГРОВЕРМ» на процесс прорастания семян зерновых культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (192). С. 19–23.

Об авторах:

Надежда Михайловна Королькова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэкология и экологическая безопасность», Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия; ORCID 0000-0002-1193-4859, AuthorID 5678-9154. E-mail: nmderbasova@mail.sevsu.ru

Наталья Игоревна Черкашина, кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии», Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия; ORCID 0000-0003-3913-3495, AuthorID 3913-8948. E-mail: cherkashina@mail.sevsu.ru

Елена Виктарьевна Гусева, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Судовое электрооборудование», Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия; ORCID 0009-0002-6875-5293, AuthorID 8630-5870. E-mail: evguseva@mail.sevsu.ru

References

1. Nevzorov M. A., Nevzorov A. I. Mineral and organic fertilizers as a factor of increasing soil fertility when growing corn on silos. *Science and Education*. 2020; 3 (3): 308–316. (In Russ.)

2. Kapustin V. P., Rodionov Yu. V., Skomorokhova A. I. Improving the quality of organic fertilizers is the basis of harvets agricultural crops. *Science in Central Russia*. 2021; 4 (52): 17–25. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-4-17-25. (In Russ.)

3. Chernov S. A., Matveev V. V. Organic fertilizers as a factor in neutralizing the threat of food inflation. *Health is the Basis of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them*. 2021; 16 (4): 1748–1752. (In Russ.)

4. Vokosov Z. K., Kanoatov Kh. M., Mekhmanov B. I., Ortigaliev U. R. Development and research of the effectiveness of organic fertilizers. *Universum: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal*. 2022; 12 (105): 14768–14774. DOI: 10.32743/UniTech.2022.105.12.14768. (In Russ.)

5. Konovalova L. K. Economical efficiency of organic fertiliser application in different production conditions. *Agrarian Journal of the Upper Volga Region*. 2020; 1: 120–124. DOI: 10.35523/2307-5872-2020-30-1-120-124 (In Russ.)

6. Zavyalova N. E., Shishkov D. G., Ivanova O. V. The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the yield and quality parameters of potato tubers. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (3): 409–416. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.409-416. (In Russ.)
7. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 58–65. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65. (In Russ.)
8. Prokina L. N., Pugaev S. V. The use of macro and micro fertilizers in barley crops in field crop rotation on leached chernozem. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (3): 440–447. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.3.440-447. (In Russ.)
9. Sheudzhen A. Kh., Gutorova O. A., Bondareva T. N., et al. Influence of mineral and organic fertilizers on the growth and development of rice plants. *Rice Farming*. 2022; 2 (55): 57–62. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-57-62. (In Russ.)
10. Mironenko O. V. Organic market in Russia: state and prospects. National Organic Union. *Milk Processing*. 2017; 7 (213): 48–53. (In Russ.)
11. Naprienko A. A. Cavitation. *Youth and science: collection of materials of the IX All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk* [Internet]. Krasnoyarsk, 2013 [cited 2024 Jan 10]. Pp. 16–20. Available from: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/10929?ysclid=lnhe3smzbq16317043>. (In Russ.)
12. Kovalchuk A. N., Lefler T. F., Stroganova I. Ya., et al. The technology of disinfection of pig manure. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017; 11: 71–79. (In Russ.)
13. User guide. *Hydrodynamic mill-cavitator "Activator-Gd"* [Internet]. 2022 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <http://www.activator.ru/AcGd.html>. (In Russ.)
14. User guide. SPECTROSCAN MAX-GVM. *NPO SPECTRON* [Internet]. 2022 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://spectronxray.ru/devices/spektrometers/spectroscan-maks-gv>. (In Russ.)
15. Zupanc M., Pandur Ž., Stepišnik Perdih T., Stopar D., Petkovšek M., Dular M. Effects of cavitation on different microorganisms: The current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019; 57: 147–165. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.05.009.
16. Patent 2 735 961 Russian Federation: MPC C05F3/00/B82B3/00/B82Y40/00/ Cavitation method for disinfection of liquid organic waste and preparation of organomineral fertilizers / Kostenko M. Yu., et al.; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev". N 2019138106; application 11/25/2019 ; published 11.11.2020, Bulletin N 32 [Internet] [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://patenton.ru/patent/RU2735961C1.pdf>. (In Russ.)
17. Komarova E. V., Slabunova A. V., Kharitonov S. E. Applying the cavitation effect in animal wastewater treatment. *Ecology and water management*. [Internet]. 2021 [cited 2024 Jan 10]; 3 (2): 61–74. Available from: https://www.researchgate.net/publication/352482439_APPLYING_THE_CAVITATION_EFFECT_DURING_ANIMAL_WASTEWATER_TREATMENT.
18. State standard 12038-84. *Agricultural seeds. Methods for determining germination*. Moscow: Standardinform, 2020. 40 p. (In Russ.)
19. State standard 12036-85. *Agricultural seeds. Acceptance rules and sampling methods*. Moscow: Standardinform, 2020. 14 p. (In Russ.)
20. Kallas E. V., Novikova A. S., Valevich T. O. *Determination of quantitative and qualitative characteristics of humus by various methods and interpretation of the results obtained: Guidelines*. Tomsk: Tomsk State University, 2020. 55 p. (In Russ.)
21. State standard 26713-85. *Organic fertilizers. Method for determining of moisture dry residue*. Moscow: Gosstandart, 1985. 6 p. (In Russ.)
22. State standard 26712-94. *Organic fertilizers. General requirements for methods of analysis*. Minsk: Euro-Asian Council for standardization, metrology and certification, 1994. 12 p. (In Russ.)
23. State standard 27980-88. *Organic fertilizers. Organic determination methods*. Moscow: Gosstandart, 1988. 11 p. (In Russ.)
24. State standard 31461-2012. *Poultry dung. Raw material for manufacture of organic fertilizers. Specifications*. Moscow: Standartinform, 2020. 6 p. (In Russ.)
25. State standard 56004-2014. *Organic fertilizers. Vermicomposts. Technical specifications*. Moscow: Standartinform, 2020. 12 p. (In Russ.)
26. State standard 21748-2021. *The national standard of the Russian Federation. Statistical methods. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty evaluation*. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 36 p. (In Russ.)

27. Kosenko S. V., Pluzhnikova I. I. The influence of “AGROVERM” biofertilizer on the process of seed germination of cereal crops. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2020; 10 (192): 19–23. (In Russ.)

Authors' information:

Nadezhda M. Korolkova, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department “Radioecology and Environmental Safety”, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia;

ORCID 0000-0002-1193-4859, AuthorID 5678-9154. *E-mail: nnderbasova@mail.sevsu.ru*

Natalya I. Cherkashina, candidate of technical sciences, associate professor of the department “Chemistry and Chemical Technologies”, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia; ORCID 0000-0003-3913-3495,

AuthorID 3913-8948. *E-mail: cherkashina@mail.sevsu.ru*

Elena V. Guseva, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department

“Marine Electrical Equipment”, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia; ORCID 0009-0002-6875-5293, AuthorID 8630-5870. *E-mail: evguseva@mail.sevsu.ru*

Урожайность и качество зерна сортов пшеницы двуручек и раннеспелых озимых при разных сроках посева в северной лесостепи Тюменской области

Ю. П. Логинов, А. А. Казак[✉], С. Н. Ященко, А. С. Гайзатулин

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: kazakaa@gausz.ru

Аннотация. Успешное выведение урожайных с высоким качеством зерна, хорошо адаптированных к сибирским условиям сортов яровой пшеницы, зависит от наличия и изученности исходного материала. При оптимальном сроке посева для яровой пшеницы они не успевают сформировать физиологически зрелое зерно, а при посеве в срок для озимой пшеницы вымерзают в условиях Тюменской области. В этой связи **цель** исследований – изучить влияние сроков посева раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек на урожайность и качество зерна в северной лесостепи Тюменской области. **Методы.** При изучении использовались общепринятые в Государственном сортоиспытании методики. **Научная новизна.** В условиях лесостепной зоны Тюменской области впервые проходили испытания новые сорта пшеницы двуручки Паллада, Ласточка и раннеспелые сорта озимой пшеницы Ранняя 12, Скороспелка 3б, Старшина. **Результаты.** В 2022–2023 гг. нами изучено на опытном поле ГАУ Северного Зауралья влияние подзимнего и раннего весеннего сроков посева на урожайность и качество зерна сортов. Установлено, что при подзимнем посеве (15 октября) и раннем весеннем (22 апреля) изучаемые сорта пшеницы нормально росли и развивались. При этом они сформировали хорошо развитую листовую поверхность средней высоты, устойчивую к полеганию соломины. В оба года исследований изучаемые сорта созрели в третьей декаде августа. Урожайность при подзимнем посеве составила 59,5–71,0 ц/га, у ярового стандартного сорта Икар – 41,9, при раннем весеннем посеве – 51,2–65,4 ц/га, у стандарта – 35,3. Урожайность сочеталась с качеством зерна: содержание белка – 14,5–16,4 %, клейковина – 29,0–34,2 %. Изучаемые сорта пшеницы необходимо использовать в гибридизации с яровыми сортами, а также продолжить размножение семян для закладки производственного испытания.

Ключевые слова: пшеница, сорт, срок посева, урожайность, качество зерна, двуручки, продуктивность, Тюменская область

Для цитирования: Логинов Ю. П., Казак А. А., Ященко С. Н., Гайзатулин А. С. Урожайность и качество зерна сортов пшеницы двуручек и раннеспелых озимых при разных сроках посева в северной лесостепи в северной лесостепи Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 593–604. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-593-604>.

Дата поступления статьи: 18.01.2024, **дата рецензирования:** 29.01.2024, **дата принятия:** 16.02.2024.

Productivity and grain quality of alternate wheat varieties and early-ripening winter crops at different sowing dates in the northern forest-steppe of the Tyumen region

Yu. P. Loginov, A. A. Kazak[✉], S. N. Yashchenko, A. S. Gayzatulin

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

[✉]E-mail: kazakaa@gausz.ru

Агротехнологии

Abstract. Successful breeding of spring wheat varieties that are productive, have high grain quality, and are well adapted to Siberian conditions depends on the availability and knowledge of the source material. In this regard, **the purpose** of the research: to study the influence of the timing of sowing early ripe varieties of winter wheat and winter wheat varieties of alternate wheat on the yield and quality of grain in the northern forest-steppe of the Tyumen region. **Methods.** There were used in the study of generally accepted methods in the State Variety Test. **Scientific novelty.** In the conditions of the forest-steppe zone of the Tyumen region, new varieties of early ripening winter wheat Rannyaya 12, Skorospelka 3b, Starshina and alternate wheat varieties Pallada, Lastochka. **Results.** In 2022–2023 we studied on the experimental field of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals the influence of pre-winter and early spring sowing dates on the yield and quality of grain. It was established that during winter sowing (October 15) and early spring (April 22), the studied wheat varieties grew and developed normally. At the same time, they formed a well-developed leaf surface, of medium height, and straw resistant to lodging. In both years of research, the studied varieties ripened in the third ten days of August. The yield with winter sowing was 59.5–71.0 c/ha, for the spring standard variety Ikar – 41.9, with early spring sowing – 51.2–65.4 c/ha, for the standard variety 35.3. Productivity was combined with grain quality: protein content – 14.5–16.4 %, gluten – 29.0–34.2 %. The wheat varieties under study must be used in hybridization with spring varieties, as well as seed propagation must continue to establish a production test.

Keywords: wheat, variety, sowing period, yield, grain quality, alternate wheat, productivity, Tyumen region

For citation: Loginov Yu. P., Kazak A. A., Yashchenko S. N., Gayzatulin A. S. Productivity and grain quality of alternate wheat varieties and early-ripening winter crops at different sowing dates in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 593–604. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-593-604>. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.01.2024, **date of review:** 29.01.2024, **date of acceptance:** 16.02.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

За последние десятилетия в специальной литературе и учебниках встречаются лишь краткие сообщения о сортах пшеницы двуручки, но нет информации об использовании их в производстве и селекции в сибирском регионе, хотя в Краснодарском крае, Ростовской области и прилегающих к ним территориях они высеваются часто как озимые и как яровые формы [1–4]. Что касается раннеспелых сортов озимой пшеницы, то в условиях Тюменской области, как и Сибири в целом, они вымерзают на 70–90 % и нередко полностью [5–7].

Необходимо отметить, что у себя на родине, в Краснодарском крае, сорта двуручки и раннеспелые озимые сорта характеризуются комплексом ценных хозяйственных признаков: средняя высота растений и высокая устойчивость их к полеганию; хорошо развитая корневая система и листовая поверхность; расположение листьев относительно стебля под острым углом, что увеличивает погло-

щение солнечной энергии в течение дня; устойчивость к 2–3 болезням и более; высокая урожайность (7–8 т/га); накопление в зерне 14–16 % белка, 27–34 клейковины %; повышение урожайности за счет внесения минеральных удобрений. На один килограмм внесенных удобрений они формируют 12–14 кг зерна [8–10]. В связи с отмеченным они представляют интерес для использования в селекции и сельскохозяйственном производстве Тюменской области, поэтому по ним необходимо изучать сроки посева [11–13]. Сорта пшеницы двуручки и раннеспелые озимые сорта краснодарской селекции, обладая комплексом ценных хозяйственных признаков, представляют интерес для селекции и непосредственного использования в производстве.

Цель исследований – изучить влияние сроков посева раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек на урожайность и качество зерна в северной лесостепи Тюменской области.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в 2022–2023 гг. на малом опытном поле кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве ГАУ Северного Зауралья. Почва – чернозем выщелоченный, тяжелосуглинистый по гранулометрическому составу, средне обеспечен азотом и фосфором, хорошо – калием, рН – 6,7, содержание гумуса – 7,2 %. Предшественник – картофель. Обработка почвы включала раннюю отвальную вспашку, боронование, предпосевную культивацию [14]. Минеральные удобрения вносили в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д. в. на 1 га [15].

За объект изучения взяты три раннеспелых сорта озимой пшеницы: Ранняя 12, Скороспелка 3б, Старшина и два сорта двуручки: Паллада и Ласточка селекции Краснодарского НИИСХ имени П. П. Лукьяненко. За стандарт взят яровой реестровый сорт Икар. Посев проведен в три срока: 15 октября (подзимний), 22 апреля и 15 мая. Норма высева – 6 млн всхожих зерен на 1 га, глубина посева – 6–7 см. Площадь делянки – 10 м², повторность четырехкратная, размещение делянок рендомизированное [16].

Наблюдения и учеты проведены по методикам Государственного испытания сортов сельскохозяйственных культур¹, Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)². Энергию прорастания семян и лабораторную всхожесть определяли по ГОСТ 12 12038-84. Математическая обработка экспериментальных данных проведена по методике Б. А. Доспехова³.

Результаты (Results)

При изучении сортов пшеницы и других сельскохозяйственных культур в Тюменской области особое внимание уделяется продолжительности вегетационного периода. До сих пор сибирский регион относится к зоне рискованного земледелия и характеризуется коротким безморозным периодом. С учетом отмеченного предпочтение здесь отдается раннеспелым сортам пшеницы, хотя ученые все больше утверждают о потеплении климата. Возможно, в перспективе получат признание среднепоздние и позднеспелые сорта. Пока преждевременно переводить в эту плоскость селекцию и сортоиспытание [17–19].

О влиянии сроков посева на продолжительность вегетационного периода раннеспелых сортов озимой пшеницы и двуручки в северной лесостепи Тюменской области можно судить по данным таблицы 1.

Изучение типа развития пшеничного растения на генетическом уровне показало, что этот признак

контролируют гены Vrn 1, 2, 3, 4, 5, а также гены Ppd 1, 2, 3. При этом яровой тип развития контролируется доминантными генами, а озимый – рецессивными в сочетании с генами Ppd. В зависимости от сочетания генов отмеченных систем развития зависят тип развития сортов пшеницы и продолжительность вегетационного периода [10]. К сожалению, по изучаемым нами сортам не опубликован в специальной литературе генетический паспорт, поэтому мы ориентируется по реакции к низким температурам на стадии яровизации. По нашим наблюдениям и заключению, изучаемые озимые сорта Ранняя 12, Скороспелка 3б и Старшина имеют стадию яровизации 25–30 суток, а сорта двуручки Паллада и ласточка – 15–20 суток. Вместе с тем изучать этот вопрос необходимо на более высоком уровне совместно с учеными в области физиологии и биохимии растений на современных приборах.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что при подзимнем посеве в начале мая все изучаемые сорта, включая яровой стандарт Новосибирская 31, дали вполне густые всходы и далее нормально росли и развивались. В научных исследованиях и агрономической практике подзимний посев воспринимается нетрадиционным, но он в перспективе в связи с потеплением климата может быть признан в растениеводстве. О его положительных и отрицательных сторонах – отдельная тема для рассуждения.

При посеве 15 октября продолжительность вегетационного периода стандартного сорта Новосибирская 31 составила 290 суток, озимых раннеспелых сортов и сортов двуручек – соответственно на 15–17 на 13–4 суток больше. При посеве 22 апреля (температура почвы +7...+8 °С) продолжительность вегетационного периода у стандартного ярового сорта была 115 суток, у озимых сортов – 126–128 суток, у двуручек – 119–121 сутки. При посеве в оптимальный срок для яровых сортов (15 мая) у стандартного сорта Новосибирская 31 вегетационный период составил 89 суток, у озимых сортов и у сортов двуручек он был на 50–51 сутки продолжительнее.

Важно отметить, что посевы изучаемых сортов с подзимнего посева и посева 22 апреля, а также яровой стандартный сорт с посева 15 мая созрели в третьей декаде августа и дали зерно с влажностью 12–14 %. Озимые сорта и сорта двуручки при посеве 15 мая сильно затянули вегетацию – убрали их 3 октября. При этом зерно в боковых побегах не достигло полной спелости, а зерно в колосьях главных побегов имело высокую влажность (35 % и более). Таким образом, посев раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек неприемлем для лесостепной зоны Тюменской области. Возможно, с применением дополнительных агроприемов, таких как десикация, он будет приемлем для региона.

¹ Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Б. и., 2015. 61 с.

² Мережко А. Ф., Удачин Р. А. [и др.] Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопы и тритикале: методические указания. Санкт-Петербург: Всероссийский НИИ растениеводства имени Н. И. Вавилова (ВИР), 1999. 68 с.

³ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1
Продолжительность вегетационного периода сортов пшеницы в зависимости от срока посева, 2022–2023 гг.

Сорт	Вегетационный период (суток) при посеве:			К стандарту (±) при посеве:		
	15 октября	22 апреля	15 мая	15 октября	22 апреля	15 мая
Новосибирская 31, стандарт, яровой	290	115	89	–	–	–
Ранняя, озимый	307	128	147	+17	+13	+58
Скороспелка 3б, озимый	305	126	149	+15	+11	+60
Старшина, озимый	306	127	145	+16	+12	+56
Паллада, двуручка	303	121	140	+13	+6	+51
Ласточка, двуручка	304	119	142	+14	+4	+53

Table 1
Duration of the growing season of wheat varieties depending on the term of sowing, 2022–2023

Variety	Growing season (days) in sowing:			To the standard (±) when sowing:		
	October 15	April 22	May 15	October 15	April 22	May 15
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	290	115	89	–	–	–
<i>Rannaya, winter</i>	307	128	147	+17	+13	+58
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	305	126	149	+15	+11	+60
<i>Starshina, winter</i>	306	127	145	+16	+12	+56
<i>Pallada, alternate wheat</i>	303	121	140	+13	+6	+51
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	304	119	142	+14	+4	+53

Таблица 2
Высота растений и устойчивость их к полеганию, 2022–2023 гг.

Сорт	Высота растений, см	Длина нижних междоузлий, см		Масса 1 см стебля, мг	Устойчивость к полеганию, балл
		Первого	Второго		
Новосибирская 31, стандарт, яровой	98 ± 4	7,2 ± 0,9	15,6 ± 1,3	18,4 ± 1,5	3,9 ± 0,4
Ранняя, озимый	76 ± 3	5,6 ± 0,7	11,8 ± 1,1	25,2 ± 1,8	4,8 ± 0,2
Скороспелка 3б, озимый	81 ± 5	4,8 ± 0,5	10,3 ± 0,8	24,6 ± 1,3	5,0 ± 0,4
Старшина, озимый	79 ± 4	6,4 ± 0,8	12,0 ± 0,9	22,3 ± 1,1	4,7 ± 0,3
Паллада, двуручка	80 ± 6	4,2 ± 0,6	9,7 ± 1,0	23,0 ± 1,4	4,9 ± 0,2
Ласточка, двуручка	83 ± 3	3,9 ± 0,7	8,1 ± 0,6	24,5 ± 0,9	4,8 ± 0,3
НСР ₀₅	5	1,2	1,9	2,3	0,4

Table 2
The height of plants and their resistance to subsidence, 2022–2023

Variety	Height of plants, cm	Length of lower internodes, cm		Weight 1 cm stem, mg	Resistance to relaxation, score
		The first	The second		
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	98 ± 4	7.2 ± 0.9	15.6 ± 1.3	18.4 ± 1.5	3.9 ± 0.4
<i>Rannaya, winter</i>	76 ± 3	5.6 ± 0.7	11.8 ± 1.1	25.2 ± 1.8	4.8 ± 0.2
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	81 ± 5	4.8 ± 0.5	10.3 ± 0.8	24.6 ± 1.3	5.0 ± 0.4
<i>Starshina, winter</i>	79 ± 4	6.4 ± 0.8	12.0 ± 0.9	22.3 ± 1.1	4.7 ± 0.3
<i>Pallada, alternate wheat</i>	80 ± 6	4.2 ± 0.6	9.7 ± 1.0	23.0 ± 1.4	4.9 ± 0.2
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	83 ± 3	3.9 ± 0.7	8.1 ± 0.6	24.5 ± 0.9	4.8 ± 0.3
<i>LSD₀₅</i>	5	1.2	1.9	2.3	0.4

Фотосинтетическая активность листьев озимых сортов двуручек при весеннем посеве в условиях Тюменской области, 2022–2023 гг.

Сорт	Количество листьев на растении, шт.	Лист, см		Площадь листьев, тыс. м ² /га	ФП., тыс. м ² /сутки	Продуктивность фотосинтеза, г/м ² ·сутки
		Длина	Ширина			
Новосибирская 31, стандарт, яровой	8 ± 0,9	19 ± 1,8	0,9 ± 0,1	29,7 ± 1,5	713 ± 18	5,2 ± 0,3
Ранняя, озимый	12 ± 1,4	13 ± 1,6	1,4 ± 0,2	36,4 ± 1,2	896 ± 21	5,9 ± 0,4
Скороспелка 3б, озимый	11 ± 1,7	14 ± 1,2	1,2 ± 0,1	35,1 ± 1,4	858 ± 16	6,1 ± 0,2
Старшина, озимый	13 ± 1,2	12 ± 1,4	1,5 ± 0,3	38,3 ± 1,6	904 ± 23	6,4 ± 0,5
Паллада, двуручка	12 ± 1,5	15 ± 1,7	1,3 ± 0,2	34,0 ± 1,3	860 ± 17	5,8 ± 0,2
Ласточка, двуручка	11 ± 1,3	14 ± 1,5	1,4 ± 0,3	32,9 ± 1,1	842 ± 15	6,0 ± 0,3
НСР ₀₅	2	3,1	0,2	2,7	38	0,4

Table 3
Photosynthetic activity of leaves of winter varieties of alternate wheat during spring sowing in the Tyumen region, 2022–2023

Variety	Number of leaves on the plant, pcs.	Sheet, cm		Leaf area, thousand m ² /ha	AF, thousand m ² /day	Photosynthesis productivity, g/m ² ·day
		Length	Width			
Novosibirskaya 31, standard, spring	8 ± 0.9	19 ± 1.8	0.9 ± 0.1	29.7 ± 1.5	713 ± 18	5.2 ± 0.3
Rannaya, winter	12 ± 1.4	13 ± 1.6	1.4 ± 0.2	36.4 ± 1.2	896 ± 21	5.9 ± 0.4
Skorospelka 3b, winter	11 ± 1.7	14 ± 1.2	1.2 ± 0.1	35.1 ± 1.4	858 ± 16	6.1 ± 0.2
Starshina, winter	13 ± 1.2	12 ± 1.4	1.5 ± 0.3	38.3 ± 1.6	904 ± 23	6.4 ± 0.5
Pallada, alternate wheat	12 ± 1.5	15 ± 1.7	1.3 ± 0.2	34.0 ± 1.3	860 ± 17	5.8 ± 0.2
Lastochka, alternate wheat	11 ± 1.3	14 ± 1.5	1.4 ± 0.3	32.9 ± 1.1	842 ± 15	6.0 ± 0.3
LSD ₀₅	2	3.1	0.2	2.7	38	0.4

Несмотря на столь сложное проявление продолжительности вегетационного периода у озимых раннеспелых сортов и сортов двуручек, при весеннем посеве в оптимальный срок в условиях Тюменской области они привлекают внимание селекционеров, генетиков и товаропроизводителей по другим ценным хозяйственным признакам: устойчивость к полеганию и болезням, хорошо развитая листовая поверхность и конструкция листа. Соломина у них средней высоты, очень плотная, с укороченными нижними междоузлиями. Причем изучаемые сорта устойчиво сохраняют отмеченные признаки при разных сроках посева, поэтому в таблице 2 приведены данные, полученные в ходе анализа растений сортов пшеницы с посева 22 апреля.

Фотосинтетическая активность листьев – основа получения высокой урожайности зерна пшеницы [20]. По этому вопросу с использованием достижения физиологии в сибирском регионе проведено мало исследований. Модель будущего сорта пшеницы в этом плане отработана не полностью. В перспективе селекционерам вместе с физиологами и биохимиками предстоит решить эту проблему. Следует отметить, что в краснодарском селекцентре

в свое время академик П. П. Лукьяненко обращал должное внимание на формирование листовой поверхности и конструкции листа озимой пшеницы. В последующем его ученики успешно развивали это направление. Подтверждением тому являются многие озимые сорта и сорта двуручки, включенные в реестр селекционных достижений страны.

Проанализируем результаты изучения площади листьев и других показателей фотосинтеза раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек краснодарской селекции в условиях Тюменской области при весеннем посеве (таблица 3).

Из анализа данных таблицы 3 видно, что раннеспелые озимые сорта и сорта двуручки имели на растении 11–13 листьев, стандартный яровой сорт – 8 листьев. Кроме того, изучаемые сорта имели более широкий, укороченный лист, чем яровой стандартный сорт, поэтому у них листья отходят от стебля под более острым углом (45–60°), они продуктивно «работают» в течение дня. По площади листьев, фотосинтетическому потенциалу и продуктивности фотосинтеза изучаемые сорта имеют неоспоримое преимущество перед яровым стандартным сортом Новосибирская 31.

Таблица 4
Устойчивость раннеспелых сортов двуручек к болезням при весеннем посеве в северной лесостепи Тюменской области, 2022–2023 гг.

Сорт	Устойчивость (балл) к болезням			
	Бурая листовая ржавчина	Стеблевая ржавчина	Мучнистая роса	Септориоз
Новосибирская 31, яровой, стандарт	3–5	3–5	5–7	5–7
Ранняя 12, озимый	7–9	5–7	7–9	7–9
Скороспелка 3б, озимый	7–9	5–7	7–9	7–9
Старшина, озимый	9–9	7–9	9–9	5–7
Паллада, двуручка	7–7	9–9	7–9	9–9
Ласточка, двуручка	7–9	5–7	9–9	7–9
HCP ₀₅	1,5–2,0	2,3–2,1	0,8–1,4	1,7–0,8

Table 4
Resistance of early ripe varieties of alternate wheat to diseases during spring sowing in the northern forest-steppe of the Tyumen region, 2022–2023

Variety	Resistance (score) to the diseases			
	Brown leaf rust (<i>Puccinia recondita</i>)	Brown leaf rust (<i>Puccinia recondita</i>)	Brown leaf rust (<i>Puccinia recondita</i>)	Brown leaf rust (<i>Puccinia recondita</i>)
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	3–5	3–5	5–7	5–7
<i>Rannaya, winter</i>	7–9	5–7	7–9	7–9
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	7–9	5–7	7–9	7–9
<i>Starshina, winter</i>	9–9	7–9	9–9	5–7
<i>Pallada, alternate wheat</i>	7–7	9–9	7–9	9–9
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	7–9	5–7	9–9	7–9
LSD ₀₅	1.5–2.0	2.3–2.1	0.8–1.4	1.7–0.8

Из всех проблем в селекции яровой пшеницы самой актуальной остается проблема устойчивости к болезням. Однако успехи в этом направлении стали сильнее просматриваться в последние годы и использованием селекционного материала по международной программе CIMMYT с участием трех стран: Мексика, Казахстан, Россия [19]. В результате такого сотрудничества представилась возможность для использования ценных генов от лучших сортов отмеченных стран. Уже созданы в Омском аграрном университете под руководством Владимира Петровича Шаманина первые сорта яровой пшеницы Нива 55, Силантий, Касибовская, Агрономическая 5, Столыпинская с устойчивостью к комплексу болезней. В этом направлении надо и дальше использовать ценные гены от озимых сортов и сортов двуручек отечественной селекции (таблица 4).

Использование в гибридизации сортов и селекционных линий, полученных с использованием исходного материала по международной программе, и озимых раннеспелых сортов и сортов двуручек может дать принципиально новое сочетание генов в создаваемых сортах пшеницы, что обеспечит им устойчивость к болезням на перспективу.

С теоретической и практической точек зрения интересно проанализировать показатели структуры урожайности изучаемых сортов пшеницы при весеннем посеве в условиях Сибири (таблица 5).

Из представленных в таблице 5 данных видно, что по количеству сохранившихся растений к уборке изучаемые сорта близки к стандарту Новосибирская 31, а по количеству продуктивных стеблей превышают его на 0,93–1,45 млн шт. на 1 га, то есть раннеспелые сорта озимой пшеницы и сорта двуручки при весеннем посеве кустятся сильнее, чем яровой стандартный сорт. Кроме того, они имели больше колосков и зерен в колосе. От количества зерен в колосе и крупности зерна зависит масса зерна в колосе. Крупность зерна находилась в пределах 34,9–39,0 г, у стандартного сорта – 37,5 г. Достоверно ниже стандартного сорта была масса 1000 зерен у сорта Ранняя 12 (озимый), у остальных сортов она была на уровне стандарта Новосибирская 31.

Масса зерна в колосе у стандарта составила 0,71 г, изучаемые сорта превысили его на 0,15–0,32 г.

Из проанализированных элементов структуры урожайности формируется урожайность сорта (таблица 6).

В среднем за два года исследований при посеве 15 октября стандартный яровой сорт Новосибирская 31 дал урожайность 41,9 ц/га, изучаемые раннеспелые сорта озимой пшеницы и сорта двуручки – от 59,5 до 71,0 ц/га, или на 17,6–29,1 ц/га выше стандарта. Самым урожайным (71,0 ц/га) был озимый сорт Скороспелка 3б.

Таблица 5

Структура урожайности озимых сортов и сортов двуручек при весеннем посеве, 2022–2023 гг.

Сорт	Перед уборкой на 1 га, млн шт.		В колосе, шт.		Масса зерен, г	
	растений	продуктивных стеблей	колосков	зерен	1000 шт.	в колосе
Новосибирская 31, яровой, стандарт	4,12	4,69	14	19	37,5	0,71
Ранняя 12, озимый	4,03	5,81	18	24	34,9	0,96
Скороспелка 3б, озимый	4,25	6,14	19	25	38,2	1,03
Старшина, озимый	4,40	6,97	17	23	36,4	0,98
Паллада, двуручка	4,18	5,62	18	25	39,0	0,86
Ласточка, двуручка	4,31	5,86	19	27	37,9	0,94
НСР ₀₅	0,29	0,53	2	3	1,6	0,09

Примечание. Норма посева – 6 млн всхожих зерен на 1 га.

Table 5

The yield structure of winter and alternate wheat varieties in spring sowing, 2022–2023

Variety	Before cleaning on 1 ha, million pcs.		In the spikelet, pcs.		Grain weight, g	
	of plants	of productive stems	cones	grains	1000 pcs.	in a spike
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	4.12	4.69	14	19	37.5	0.71
<i>Rannaya, winter</i>	4.03	5.81	18	24	34.9	0.96
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	4.25	6.14	19	25	38.2	1.03
<i>Starshina, winter</i>	4.40	6.97	17	23	36.4	0.98
<i>Pallada, alternate wheat</i>	4.18	5.62	18	25	39.0	0.86
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	4.31	5.86	19	27	37.9	0.94
<i>LSD₀₅</i>	0.29	0.53	2	3	1.6	0.09

Note. The sowing rate is 6 million germinated grains per 1 ha.

Таблица 6

Урожайность раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек при подзимнем и раннем весеннем посевах в условиях Тюменской области

Сорт	Урожайность (ц/га) при посеве:						К стандарту (±), ц/га при посеве:	
	15 октября			22 апреля			15 октября	22 апреля
	2022 г.	2023 г.	Средняя	2022 г.	2023 г.	Средняя		
Новосибирская 31, яровой, стандарт	44,7	39,2	41,9	37,4	33,2	35,3	–	–
Ранняя 12, озимый	69,3	61,4	65,3	61,8	55,7	58,7	+23,4	+23,4
Скороспелка 3б, озимый	74,0	68,1	71,0	67,6	63,2	65,4	+29,1	+30,1
Старшина, озимый	70,8	64,5	67,3	63,0	85,5	60,7	+25,4	+25,4
Паллада, двуручка	62,1	57,0	59,5	54,1	48,3	51,2	+17,6	+15,9
Ласточка, двуручка	67,5	62,7	65,1	60,9	55,1	58,0	+23,2	+22,7
НСР ₀₅	3,1	3,7	–	2,8	3,4	–	–	–

Table 6

Yield of early ripe varieties of winter wheat and varieties of alternate wheat with winter and early spring crops in the conditions of the Tyumen region

Variety	Seeding yield (c/ha):						To standard (±), c/ha at sowing:	
	October 15			April 22			October 15	April 22
	2022	2023	Average	2022	2023	Average		
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	44.7	39.2	41.9	37.4	33.2	35.3	–	–
<i>Rannaya, winter</i>	69.3	61.4	65.3	61.8	55.7	58.7	+23.4	+23.4
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	74.0	68.1	71.0	67.6	63.2	65.4	+29.1	+30.1
<i>Starshina, winter</i>	70.8	64.5	67.3	63.0	85.5	60.7	+25.4	+25.4
<i>Pallada, alternate wheat</i>	62.1	57.0	59.5	54.1	48.3	51.2	+17.6	+15.9
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	67.5	62.7	65.1	60.9	55.1	58.0	+23.2	+22.7
<i>LSD₀₅</i>	3.1	3.7	–	2.8	3.4	–	–	–

Таблица 7
Качество зерна раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек при посеве 15 октября в условиях Тюменской области, 2022–2023 гг.

Сорт	Объемная масса зерна, г/л	Стекловидность, %	Число падения, сек.	Белок, %	Клейковина	
					Количество, %	Качество, ед. ИДК-1
Новосибирская 31, яровой, стандарт	859	67	219	15,3	30,8	68
Ранняя 12, озимый	863	55	184	16,1	33,5	60
Скороспелка 3б, озимый	871	62	230	15,8	32,3	73
Старшина, озимый	845	58	198	14,5	29,0	71
Паллада, двуручка	868	53	213	15,0	31,6	65
Ласточка, двуручка	864	60	256	16,4	34,2	70
НСР ₀₅	12	7	14	0,8	1,3	7

Table 7
The quality of grain of early ripe varieties of winter wheat and varieties of alternate wheat when sowing on October 15 in the conditions of the Tyumen region, 2022–2023

Variety	Volume mass of grain, g/l	Glassy, %	Number of falls, sec.	Protein, %	Gluten	
					Quantity, %	Quality, IGD
<i>Novosibirskaya 31, standard, spring</i>	859	67	219	15.3	30.8	68
<i>Ranniyaya, winter</i>	863	55	184	16.1	33.5	60
<i>Skorospelka 3b, winter</i>	871	62	230	15.8	32.3	73
<i>Starshina, winter</i>	845	58	198	14.5	29.0	71
<i>Pallada, alternate wheat</i>	868	53	213	15.0	31.6	65
<i>Lastochka, alternate wheat</i>	864	60	256	16.4	34.2	70
<i>LSD₀₅</i>	12	7	14	0.8	1.3	7

При посеве 22 апреля урожайность сортов пшеницы ниже по сравнению с посевом 15 октября и составила у стандартного сорта 35,3 ц/га, у изучаемых сортов – от 51,2 до 65,4 ц/га, что на 15,9–30,1 ц/га выше стандарта. Свое лидерство сохранил сорт Скороспелка 3б. Посев 15 мая, как показали наши исследования, не представляет интереса для селекции и производства.

К посеву ранних озимых сортов и сортов двуручек необходимо отнестись с пониманием и осознанием меняющегося климата. Вполне возможно, что то, что раньше было непривычным и даже невозможным для селекционеров и растениеводов, в перспективе может стать нормой.

В условиях рынка урожайность сортов пшеницы должна сочетаться с качеством зерна. Изучаемые нами раннеспелые озимые сорта пшеницы у себя на родине, в Краснодарском крае, при посеве в срок для озимой пшеницы, а сорта двуручки – при посеве в срок для озимой пшеницы и весной, в срок для яровой пшеницы, формируют зерно с высокими показателями его качества. При посеве в Тюменской области под зиму (15 октября) и рано весной (22 апреля) они в основном сохранили на высоком уровне многие показатели качества зерна (таблицы 7 и 8).

По приведенным в таблице 7 показателям качества зерна раннеспелых озимых сортов и сортов двуручек при подзимнем посеве в северной лесостепи Тюменской области видно, что они не уступают стандартному яровому сорту сильной пшеницы. Полученные первые результаты характеризуют изучаемые сорта с положительной стороны. Их уже необходимо использовать в гибридизации с лучшими реестровыми сортами.

Для сравнения проанализируем качество зерна этих же сортов при раннем весеннем посеве [21–23], который применялся в Сибири и прилегающих к ней территориях до 60-х годов прошлого столетия. Поскольку в тот период гербициды в борьбе с сорняками еще не применяли, посевы раннего срока посева, особенно по непаровым полям, сильно зарастали, поэтому земледельцы по рекомендации академика Т. С. Мальцева сдвинули ранний срок посева на более поздние даты. В настоящее время имеется широкий перечень химических и биологических средств борьбы в осенний, весенний и летние периоды. Наконец, выделяются чистый и сидеральный пары, а также другие предшественники первой группы.

Показатели качества зерна изучаемых сортов пшеницы с посева 22 апреля представлены в таблице 8.

Качество зерна раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек с посева 22 апреля, 2022–2023 гг.

Сорт	Объемная масса зерна, г/л	Стекловидность, %	Число падения, с	Белок, %	Клейковина	
					Количество, %	Качество, ед. ИДК-1
Новосибирская 31, яровой, стандарт	847	61	241	15,9	30,2	61
Ранняя 12, озимый	854	50	213	16,7	32,5	56
Скороспелка 3б, озимый	860	53	256	16,3	30,8	69
Старшина, озимый	840	51	208	15,1	28,3	66
Паллада, двуручка	857	48	235	15,6	30,7	62
Ласточка, двуручка	852	56	269	16,8	32,4	73
HCP ₀₅	9	5	12	1,1	1,5	4

Table 8

Grain quality of early ripe winter wheat varieties and alternate wheat varieties from sowing on April 22, 2022–2023

Variety	Volume mass of grain, g/l	Glassy, %	Number of falls, s	Protein, %	Gluten	
					Quantity, %	Quality, IGD
Novosibirskaya 31, standard, spring	847	61	241	15.9	30.2	61
Ranniyaya, winter	854	50	213	16.7	32.5	56
Skorospelka 3b, winter	860	53	256	16.3	30.8	69
Starshina, winter	840	51	208	15.1	28.3	66
Pallada, alternate wheat	857	48	235	15.6	30.7	62
Lastochka, alternate wheat	852	56	269	16.8	32.4	73
LSD ₀₅	9	5	12	1.1	1.5	4

При посеве 22 апреля зерно изучаемых сортов формировалось и созревало при благоприятном температурном режиме и увлажнении. Уборка в оба года исследований проходила при благоприятной сухой погоде. Зерно по показателям качества находилось на уровне стандартного сорта Новосибирская 31.

Расчет связей между количественными признаками показал, что между площадью листьев и урожайностью, а также между фотосинтетическим показателем связь положительная тесная ($r = 0,87 \pm 0,12$ и $r = 0,83 \pm 0,14$), между высотой растений и устойчивостью к полеганию связь от средней до сильной ($r = 0,52 \pm 0,09$ и $r = 0,79 \pm 0,11$), между длиной нижних междоузлий связь тесная положительная ($r = 0,91 \pm 0,16$), между массой 1 см стебля и устойчивостью к полеганию связь тесная положительная ($r = 0,74 \pm 0,10$). Между количеством продуктивных стеблей и урожайностью, а также между массой зерна с колоса и урожайностью связь тесная положительная ($r = 0,89 \pm 0,14$ и $r = 0,90 \pm 0,18$), между количеством зерен в колосе и массой зерна с колоса связь тесная положительная ($r = 0,77 \pm 0,11$).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Раннеспелые сорта озимой пшеницы Ранняя 12, Скороспелка 3б, Старшина, а также сорта двуручки Паллада, Ласточка селекции Краснодарского НИИСХ имени П. П. Лукьяненко при подзимнем посеве (15 октября) и раннем весеннем (22 апреля) в северной лесостепи Тюменской области созревают в третьей декаде августа. При этом дают урожайностью 59,5–71,0 ц/га, стандартный сорт – 41,9 ц/га и 51,2–65,4 ц/га, стандартный яровой сорт Новосибирская 31 – 35,3 ц/га. По качеству зерна при обоих сроках посева изучаемые сорта отвечали требованиям на ценную и сильную пшеницу.

В 2024 году необходимо включить их в программу скрещивания, а также предварительно размножить семена и в последующие годы провести производственное испытание. Вместе с тем стоит расширить список раннеспелых сортов озимой пшеницы и сортов двуручек нового поколения Краснодарского, Донского селекционных и других научных учреждений страны для изучения и использования в селекции яровой пшеницы в условиях Тюменской области.

Библиографический список

1. Василюк П. Н., Улыч Л. И. Агробиологические особенности сортов-двуручек пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2012. № 2 (16). С. 4–7.

2. Ганоцкая Т. Л., Нецадим Н. Н., Коваль А. В., Радченко Л. А., Радченко А. Ф. Изучение продуктивности и качества сортов пшеницы двуручки при посеве в озимый и яровой сроки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 168. С. 288–303. DOI: 10.21515/1990-4665-168-021.
3. Городов В. Т., Кластер Н. И. Адаптационный потенциал ярово-озимых гибридов пшеницы в селекции двуручек // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 4 (36). С. 74–82.
4. Нецадим Н. Н., Ганоцкая Т. Л., Коваль А. В. Урожайность зерна сортов пшеницы двуручки при посеве в различные сроки // The Scientific Heritage. 2021. № 73-1 (73). С. 12–18. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-73-1-12-18.
5. Фисунов Н. В., Моисеев А. Н., Моисеев Е. А. Агрофитоценоз и урожайность озимой пшеницы по основной обработке на опытном поле ГАУ Северного Зауралья // Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе: сборник трудов LVII Студенческой научно-практической конференции. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. С. 224–233.
6. Моисеева К. В., Филатова В. Н. Роль озимых зерновых культур в зерновом балансе на примере Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (68). С. 44–47.
7. Тедеева А. А., Тедеева В. В. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от сроков и норм высева // Аграрный вестник Урала. 2023. № 5 (234). С. 36–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-36-48.
8. Нецадим Н. Н., Ганоцкая Т. Л., Коваль А. В. Урожайность сортов пшеницы двуручки при посеве в озимый и яровой сроки // The Scientific Heritage. 2021. № 73-1 (73). С. 18–24. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-73-1-18-24.
9. Филобок В. А., Гуенкова Е. А., Беспалова Л. А., Кошкин В. А., Потоккина Е. К. Создание адаптированного генофонда альтернативного образа жизни мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2016. № 1. С. 38–42.
10. Файт В. И., Губич Е. Ю., Зеленина Г. А. Различия сортов двуручек мягкой пшеницы по генам Vrn-1 типа развития // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Т. 14, № 2. С. 160–169. DOI: 10.21498/2518-1017.14.2.2018.134762.
11. Логинов Ю. П., Казак А. А., Яценко С. Н. Влияние срока сева на урожайность и качество зерна пшеницы двуручек в северной лесостепи Тюменской области // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 7 (35). DOI: 10.23649/JAE.2023.35.2.
12. Яценко С. Н., Логинов Ю. П., Казак А. А. Структурные элементы семян сортов пшеницы в зависимости от сроков сева и норм высева в Северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2022. № 9 (186). С. 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66.
13. Логинов Ю. П. Рост, развитие и урожайность сортов пшеницы двуручки в зависимости от сроков сева в северной лесостепи Тюменской области // Агропродовольственная политика России. 2022. № 2–3. С. 10–15.
14. Миллер С. С. Способ основной обработки почвы как главный фактор формирования урожая яровой пшеницы в северной лесостепи Тюменской области // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 11 (39). DOI: 10.23649/JAE.2023.39.17.
15. Рзаева В. В. Возделывание сельскохозяйственных культур в Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3 (168). С. 3–8. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-3-8.
16. Казак А. А., Логинов Ю. П., Яценко С. Н. Посевные качества семян в зависимости от сроков сева и норм высева в северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10 (187). С. 3–15. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-3-15.
17. Межджунов П. З., Якубышина Л. И. Продолжительность послеуборочного дозревания семян сортов мягкой пшеницы // Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе: сборник трудов LVI Студенческой научно-практической конференции. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2021. С. 148–151.
18. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю. Реакция яровой мягкой пшеницы на засуху в лесостепи Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 12 (215). С. 9–18. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-9-18.
19. Потоцкая И. В., Шаманин В. П., Шепелев С. С., Пожерукова В. Е., Моргунов А. И. Синтетическая пшеница как источник улучшения качества зерна в селекции пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 56–63.
20. Моисеева А. А., Кармацких А. А., Моисеева К. В. Фотосинтез листьев и продуктивность озимой пшеницы // Симбиоз-Россия 2019: материалы XI Всероссийского конгресса молодых ученых-биологов с международным участием. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. С. 222–223.

21. Ахтариева М. К., Белкина Р. И. Сравнительная оценка сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости по показателям качества // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12 (177). С. 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-88-92.

22. Белкина Р. И., Летяго Ю. А., Выдрин В. В., Федорук Т. К. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях подтаежной зоны Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3 (168). С. 15–21. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-15-21.

23. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Понятие и требования к качеству зерна пшеницы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6 (110). С. 203–216. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216.

Об авторах:

Юрий Павлович Логинов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-2372-9350, AuthorID 704881. *E-mail: loginov.yup@gausz.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*

Сергей Николаевич Яценко, преподаватель кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-8017-629X, AuthorID 893505. *E-mail: yaschenko.sn@ati.gausz.ru*

Андрей Сергеевич Гайзатулин, преподаватель кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-6026-0371, AuthorID 1035895. *E-mail: gajzatulinas.20@ati.gausz.ru*

References

1. Vasyliuk P., Ulich L. Agrobiological traits of biennial soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2012; 2 (16): 4–7. (In Ukrain.)

2. Ganotskaya T. L., Neshchadim N. N., Koval' A. V., Radchenko L. A., Radchenko A. F. Study of productivity and quality of wheat alternate varieties when sowing in winter and spring terms. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2021; 168: 288–303. DOI: 10.21515/1990-4665-168-021. (In Russ.)

3. Gorodov V., Kloster N. Adaptive potential of the spring-winter wheat hybrids in the alternate wheat selection. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2022; 4 (36): 74–82. (In Russ.)

4. Neshchadim N., Ganotskaya T. L., Koval' A. Grain yield of alternate wheat varieties when seeding at different times. *The scientific heritage*. 2021; 73-1 (73): 12–18. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-73-1-12-18. (In Russ.)

5. Fisunov N. V., Moiseev A. N., Moiseev E. A. Agrophytocenosis and productivity of winter wheat according to the main processing on experimental field of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals. *Advances of youth science in the agro-industrial complex: collection of proceedings of the LVII Student Scientific and Practical Conference*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University, 2022. Pp. 224–233. (In Russ.)

6. Moiseeva K. V., Filatova V. N. The role of winter grain crops in the grain balance on the example of the Tyumen region. *The bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022; 1 (68): 44–47. (In Russ.)

7. Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. The influence of timing and seeding rates on the yield of winter wheat. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 5 (234): 36–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-36-48. (In Russ.)

8. Neshchadim N., Ganotskaya T., Koval' A. Yield of alternate wheat varieties when seeding in winter and spring terms. *The scientific heritage*. 2021; 73-1 (73): 18–24. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-73-1-18-24. (In Russ.)

9. Filobok V. A., Guenkova E. A., Beshpalova L. A., Koshkin V. A., Potokina E. K. Development of the adapted gene pool for alternative way of living of soft wheat. *Grain economy of Russia*. 2016; 1: 38–42. (In Russ.)

10. Fayt V. I., Gubich O. Yu., Zelenina G. A. Differences in the alternate varieties of soft wheat for Vrn-1 genes of development type. *Plant varieties studying and protection*. 2018; 2 (14): 160–169. DOI: 10.21498/2518-1017.14.2.2018.134762. (In Russ.)

11. Loginov Yu. P., Kazak A. A., Yashchenko S. N. Influence of sowing time on yield and grain quality of facultative wheat in the northern forest-steppe of Tyumen oblast. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; 7 (35). DOI: 10.23649/JAE.2023.35.2. (In Russ.)

12. Yashchenko S. N., Loginov Yu. P., Kazak A. A. Wheat varieties seeds structural elements depending on the sowing time and sowing rates in the Tyumen region northern forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2022; 9 (186): 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66. (In Russ.)

13. Loginov Yu. P. Growth, development and yield of wheat varieties of alternate depending on the terms of sowing in the northern foreststeppe of the Tyumen region. *Agro-Food Policy in Russia*. 2022; 2-3: 10–15. (In Russ.)
14. Miller S. S. Method of basic tillage as the main factor of spring wheat yield formation in the northern foreststeppe of Tyumen oblast. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; 11 (39). DOI: 10.23649/JAE.2023.39.17. (In Russ.)
15. Rzaeva V. V. Cultivation of agricultural crops in the Tyumen region. *Bulletin of KSAU*. 2021; 3 (168): 3–8. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-3-8. (In Russ.)
16. Kazak A. A., Loginov Yu. P., Yashchenko S. N. Seeds sowing quality depending on sowing time and sowing rates in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Bulletin of KSAU*. 2022; 10 (187): 3–15. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-3-15. (In Russ.)
17. Mezhdzhunov P. Z., Yakubyshina L. I. Duration of post-harvest ripening of seeds of soft wheat varieties. *Advances of youth science in the agro-industrial complex: collection of proceedings of the LVII Student Scientific and Practical Conference*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University, 2021. Pp. 148–151. (In Russ.)
18. Maltseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu. Reaction of spring soft wheat to drought in the foreststeppe of the Trans-urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 12 (215): 9–18. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-9-18. (In Russ.)
19. Pototskaya I. V., Shamanin V. P., Shepelev S. S., Pozherukova V. E., Morgunov A. I. Synthetic wheat as a source for grain quality gain in wheat breeding. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2019; 2: 56–63. (In Russ.)
20. Moiseeva A. A., Karmackih A. A., Moiseeva K. V. Leaf photosynthesis and productivity of winter wheat. *Symbiosis-Russia 2019: materials of the XI All-Russian Congress of Young Biologists with International Participation*. Perm: Perm State National Research University. Pp. 222–223. (In Russ.)
21. Akhtariyeva M. K., Belkina R. I. Different ripeness groups spring soft wheat varieties comparative evaluation by quality indicators. *Bulletin of KSAU*. 2021; 12 (177): 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-88-92. (In Russ.)
22. Belkina R. I., Letyago Yu. A., Vydrin V. V., Fedoruk T. K. Grain quality of spring soft wheat varieties in the conditions of the subtaiga zone of the Tyumen region. *Bulletin of KSAU*. 2021; 3 (168): 15–21. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-15-21. (In Russ.)
23. Malkanduev Kh. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. Kh. The concept and requirements for quality wheat grains. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022; 6 (110): 203–216. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216. (In Russ.)

Authors' information:

Yuriy P. Loginov, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-2372-9350, AuthorID 704881. *E-mail: loginov.yup@gausz.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*

Sergey N. Yashchenko, senior lecturer of the department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-8017-629X, AuthorID 893505. *E-mail: yaschenko.sn@ati.gausz.ru*

Andrey S. Gaizatulin, senior lecturer department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-6026-0371, AuthorID 1035895. *E-mail: gajzatulinas.20@ati.gausz.ru*

Оценка метеорологической засухи на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости

А. И. Павлова✉

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Россия

✉E-mail: annstab@mail.ru

Аннотация. Для мониторинга метеорологической засухи используют различные климатические индексы, среди которых наиболее известны стандартизированный индекс осадков и стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI). **Цель** исследований состоит в оценке условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур агроландшафтов Новосибирской области на основе стандартизированного индекса осадков и испаряемости. **Методы.** В исследовании были использованы методы обработки больших данных, статистического анализа. **Научная новизна** состоит в оценке увлажненности и интенсивности засухи за вегетационный период зерновых культур на основе климатического индекса осадков и испаряемости, а также выявлении отклонений средней приземной температуры воздуха и осадков от нормы в сильно засушливые и экстремально засушливые годы. **Результаты.** Выполнена оценка агроклиматических условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур на основе временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости на примере Новосибирской области. На основании статистического анализа изменения величины SPEI разного временного разрешения от одного месяца до года за период с 1970 по 2021 гг. на примере Новосибирской области выделены годы, характеризующиеся сильной и экстремальной засухой. Интенсивность засухи на территории центрально-лесостепного Приобского агроландшафта неравномерна в течение вегетационного периода. Интенсивность засухи по месяцам зависит не только от количества выпавших осадков, но и от отклонения приземной температуры воздуха от нормы.

Ключевые слова: сельскохозяйственные земли, стандартизированный индекс осадков и испаряемости, засуха, зерновые культуры, урожайность

Для цитирования: Павлова А. И. Оценка метеорологической засухи на основе климатического стандартизированного индекса осадков и испаряемости // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 605–616. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>.

Дата поступления статьи: 15.11.2023, **дата рецензирования:** 09.12.2023, **дата принятия:** 27.02.2024.

Estimation of meteorological drought based on a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

A. I. Pavlova✉

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia

✉E-mail: annstab@mail.ru

Abstract. Various climatic indices are used to monitor meteorological drought, among which the best known are the standardized precipitation index and the **standardized precipitation evapotranspiration index** (SPEI). **The purpose** of the research is to assess the conditions of moisture content of the growing season of grain crops in agrolandscapes of the Novosibirsk region on the basis of standardised precipitation and evapotranspiration index. **Methods.** Methods of big data processing, statistical analysis were used in the study. **The scientific novelty** consists in assessing the humidity and intensity of drought during the growing season of grain crops based

on the climate index of precipitation and evaporation, as well as identifying deviations of the average surface air temperature and precipitation from the norm in very dry and extremely dry years. **Results.** The estimation of agroclimatic conditions of moisture content of vegetation period of grain crops on the basis of time analysis of SPEI on the example of Novosibirsk region was carried out. On the basis of statistical analysis of changes in the SPEI value of different time resolution from one month to a year for the period from 1970 to 2021 on the example of the Novosibirsk region, the years characterised by severe and extreme drought were identified. Drought intensity in the central forest-steppe Priobskiy agricultural landscape is uneven during the growing season. The intensity of drought by month depends not only on the amount of precipitation, but also on the deviation of surface air temperature from the norm.

Keywords: agricultural lands, standardized precipitation and evaporation index, drought, grain crops, productivity

For citation: Pavlova A. I. Estimation of meteorological drought based on a Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 605–616. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-605-616>. (In Russ.)

Date of paper submission: 15.11.2023, **date of review:** 09.12.2023, **date of acceptance:** 27.02.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Согласно сведениям Всемирной метеорологической организации [1], на земном шаре наблюдается потепление климата. Средняя глобальная температура приземного воздуха за прошедшее столетие увеличилась на 1,2 °C и составила +14,9 °C. Скорость потепления климата значительная: за период с 1976 по 2020 год температура приземного воздуха увеличилась на 0,8 °C. На территории РФ изменение климата характеризуется особенностями. Потепление климата на суше происходит быстрее, чем над водной поверхностью Мирового океана, почти в два раза и составляет 0,51 °C за 10 лет [2]. С потеплением климата увеличилось количество и продолжительность метеорологических засух. Засуха как одно из негативных погодных явлений существенно влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур [3]. Это сложное явление влияет на доступность воды в почве, развитие сельскохозяйственных культур и их продуктивность, экологическую устойчивость экосистем. Вследствие этого засуха – опасное явление, приносящее социально-экономические и экологические потери от регионального масштаба до глобального. Засуха в отличие от прочих гидрометеорологических явлений погоды затрагивает вопросы продовольственной безопасности людей и оказывает большое влияние не только на величину урожайности культур, но и на качество урожая. С повышением глобальной температуры воздуха повторяемость засухи в различных регионах земного шара возросла. В дальнейшем при значительном росте температуры воздуха ожидается увеличение интенсивности засух в ближайшие десятилетия в южных и средних широтах. Засуха связана с продолжительным периодом с характерными засушливыми погодными условиями, при которых наблюдаются недостаток воды и резкое уменьшение урожайности культур.

В Западной Сибири территориальное распределение засух и их повторяемость различны. В последнее десятилетие наиболее часто наблюдается атмосферная засуха с середины мая по последнюю декаду июня [2; 3]. При оценке агроклиматических ресурсов используют сумму активных температур воздуха и осадков за период вегетации сельскохозяйственных культур, среднюю температуру самого холодного и самого теплого месяца календарного года и другие показатели. Общая оценка увлажненности территории осуществляется с помощью различных коэффициентов и индексов, вычисляемых на основе среднесезонных метеорологических наблюдений. В отечественной литературе часто используют гидротермический коэффициент увлажнения [4; 5], для сельскохозяйственной продуктивности климата – биоклиматический потенциал территории, определяющий рост и развитие растений. Выделяют четыре типа засухи: метеорологические, сельскохозяйственные, гидрологические и социально-экономические. Существующие методы оценки засухи основаны на учете показателей, увлажненности территории в течении разного интервала и изучении частоты засухи. Полученная информация служит для мониторинга засухи и оценки ее продолжительности. Научные исследования, посвященные анализу агроклиматических ресурсов, оценке и мониторингу метеорологической засухи на основе данных разного временного разрешения, наиболее актуальны в настоящее время.

В зарубежной литературе разработаны различные климатические индексы, применяемые для мониторинга засух [6–9]. Примерами таких индексов являются стандартизированный индекс осадков (Standardized Precipitation Index, SPI), индекс суровости засухи Палмера (Palmer Drought Severity Index, PDSI), стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (Standardized Precipitation

Evapotranspiration Index, SPEI), индекс растительного покрова (Vegetation Condition Index, VCI), сезонный индекс условий роста растений (Monthly Vegetation Condition Index, MVCI). Наиболее известны стандартизированный индекс осадков и стандартизированный индекс осадков и испаряемости [10–13], встречающиеся в более чем 80 работах, посвященных оценке водообеспеченности территории и прогнозированию засухи на глобальном и региональных уровнях [11–13]. Метод оценки SPI заключается в оценке возможности возникновения засухи независимо от местоположения, времени года и климата местности. Однако при вычислениях климатического индекса SPI учитываются только сведения об осадках.

Цель исследований состоит в оценке засухи применительно к отдельным периодам вегетации зерновых культур путем временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости.

Методология и методы исследования (Methods)

Стандартизированный индекс осадков и испаряемости (SPEI) является расширением стандартизированного индекса осадков (SPI). Стандартизированный индекс осадков используется для мониторинга засух во многих странах мира. В отличие индекса суровости климата Палмера вычисление SPI и SPEI возможно на основе разного временного масштаба. Это позволяет составить прогноз и оценить последствия для разных типов засухи [13].

Индекс интенсивности засухи Палмера считают одним из известных индексов для мониторинга засухи. Суть методики вычисления индекса интенсивности засухи Палмера сводится к уравнению водного баланса относительно расхода и прихода водных масс. Данный индекс позволяет учитывать условия изменения увлажненности территории в виде средней температуры воздуха за месяц и количества выпадающих осадков, а также сведений о влагоемкости верхнего почвенного слоя. Индекс используется для мониторинга интенсивности засухи для целей сельского хозяйства. К достоинствам методики индекса Палмера относят возможность выявления существенных отклонений в погодных условиях, например, для влажной или сухой. Среди недостатков климатического индекса выделяют низкую способность к оценке краткосрочной засухи и сложность сбора исходных данных о влагоемкости почвы, промерзании почвы.

Однако в оценке и мониторинге засухи с помощью SPI учитываются только осадки. Индекс SPI может быть рассчитан для разных интервалов от одного месяца до календарного года и более. Данный индекс рекомендован к использованию Всемирной метеорологической организацией. К достоинствам SPI можно отнести удобство в использовании, ко-

торое состоит в учете только величины осадков. Методика вычисления индекса SPI не предполагает использование сведений о географическом местоположении измеряемых исходных данных. Стандартизированный индекс осадков учитывает только многолетнее распределение осадков. Количественная оценка дефицита осадков осуществляется относительно среднего многолетнего значения. Индекс принимает положительные и отрицательные значения. Положительные значения используют для характеристики влажных условий. Отрицательные значения направлены на описание засушливых погодных условий. В частности, если значение индекса менее -2 ($SPI \leq -2$), то его используют для характеристики экстремальной засухи.

К числу недостатков можно отнести следующие. Стандартизированный индекс осадков не позволяет учитывать другие составляющие уравнения водного баланса. При расчете климатического индекса SPI не учитываются изменения температуры приземного воздуха. Как показывают последние исследования в области мониторинга засухи, в чрезвычайно засушливые и экстремально засушливые годы важно учитывать изменения температуры воздуха и величины испаряемости [10; 13]. В условиях глобального потепления при постепенном увеличении средней месячной температуры приземного воздуха при оценке и прогнозировании засухи важно учитывать изменение температуры воздуха.

Использование SPEI при определении засухи позволяет учитывать осадки и величину потенциальной эвапотранспирации. В отличие от SPI стандартизированный индекс осадков и испаряемости SPEI отражает основное влияние повышения температуры на потребность растений в воде. Методика вычисления климатического индекса SPEI основана на использовании функции плотности распределения значений разности осадков и испаряемости.

Исследования выполнены на примере Новосибирской области, расположенной в средних широтах Северной Евразии. Область имеет значительную протяженность с запада на восток (642 км) и с севера на юг (444 км). Большая часть территории области относится к юго-востоку Западно-Сибирской равнины, незначительная восточная часть расположена в пределах гор Южной Сибири [14].

В качестве материалов исследований служили сведения гидрометеослужбы РФ [15], сведения Global Precipitation Measurement GPM [16] за период с 1970 по 2022 год о приземной температуре воздуха на высоте два метра от земной поверхности, количестве осадков и относительной влажности воздуха, а также результаты работы [17].

Результаты исследований

В ходе исследований получены значения индексов SPEI для метеостанций Новосибирской области разного временного разрешения от одного месяца до двух лет. Далее в работе приведены результаты для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта, расположенного в центре Новосибирской области (рис. 1). Здесь получили распространение наиболее плодородные почвы – черноземы обыкновенные, черноземы выщелоченные и лугово-черноземные почвы. Агроландшафт расположен на хорошо дренированном эрозионно-аккумулятивном плато. Территория агроландшафта относится к повышенной равнине, к третьей высотной ступени рельефа Новосибирской области. Равнина

расчленена гидрографической сетью рек, образуемые водоразделы ориентированы в направлении долины р. Обь с характерными абсолютными высотами от 150 на севере и 300 м на юге, в долинах рек абсолютные высоты понижаются (85–100 м). В северной части агроландшафта преобладает плоский равнинный и плоско-заболоченный типы рельефа с углами наклона рельефа от 1 до 2,5°. На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта рельеф представляет собой слабоволнистую равнину с пологими склонами с углами наклона рельефа 3–5°, распространены также крутые склоны. Глубина вреза рек возрастает к югу агроландшафта от 10 м до 60 м.

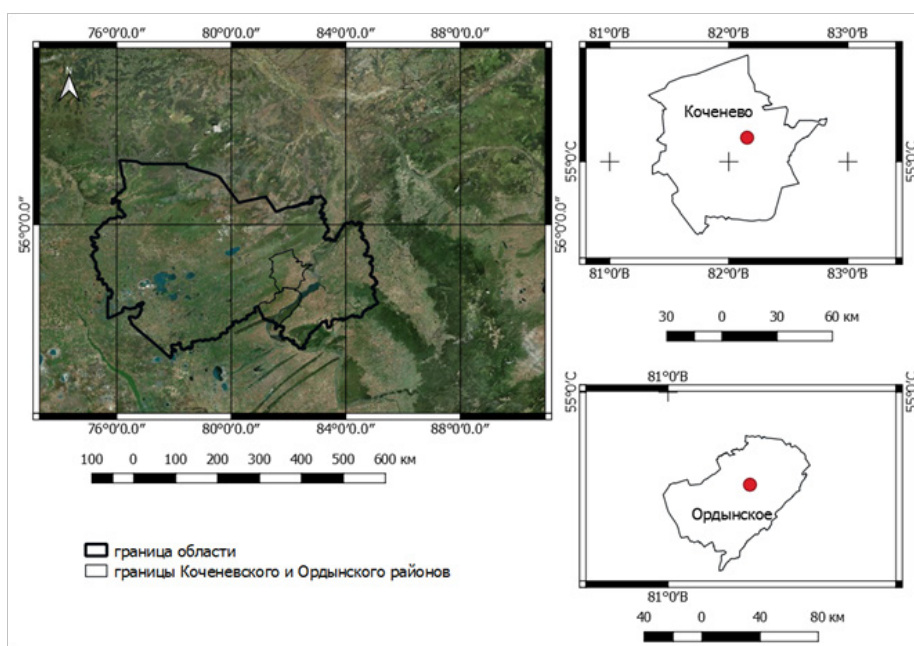


Рис. 1. Территория исследований

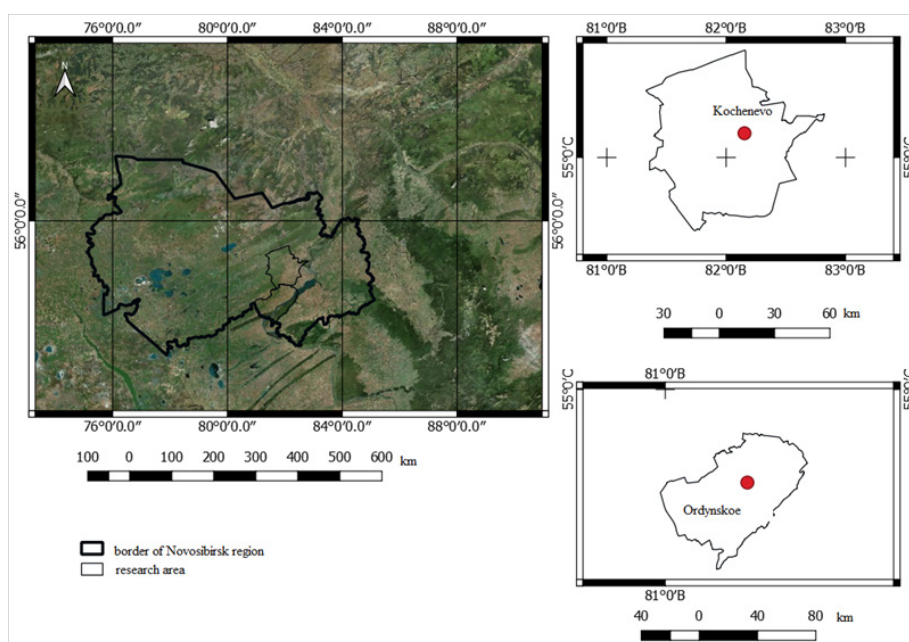


Fig. 1. Research area

Графическое отображение изменения SPEI за период с 1970 по 2021 год разных интервалов времени для метеостанций Коченево и Ордынское представлено на рис. 2 и 3. Метеостанция Коченево расположена на севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта с географическими координатами 55°01'18" с. ш., 82°12'07" в. д. Метеостанция Ордынское находится на юге агроландшафта и имеет географические координаты 54°21'56" с. ш., 81°53'57" в. д. Более темным цветом отображены отрицательные значения индексов, а положительные значения – синим цветом. Для чрезвычайно засушливых лет характерно низкое

значение индекса SPEI (меньше –2). Чрезвычайно засушливыми были 1972, 1999, 2012 годы с низкой урожайностью зерновых культур.

Общая оценка ежегодного распределения засух осуществляется за период с мая по сентябрь. Среднее многолетнее значение SPEI с апреля по сентябрь изменяется незначительно (от –0,63 до 0,58) и близко к нормальному увлажнению. При этом за 50-летний период происходит постепенное уменьшение коэффициента увлажнения и испаряемости. За период с 1970 по 2020 год коэффициент SPEI в апреле уменьшился на 0,36; в июле – на 0,25; в августе – на 0,44 (таблица 1).

Таблица 1

Средние значения SPEI для метеостанции Коченево в отдельные периоды с 1970 по 2020 гг.

Месяц	С 1970 по 1980 гг.	С 1981 по 1990 гг.	С 1991 по 2000 гг.	С 2001 по 2010 гг.	С 2011 по 2020 гг.	Среднее значение
Апрель	–0,63	0,20	0,07	0,60	–0,27	–0,007
Май	–0,271	0,34	–0,17	–0,04	0,18	0,009
Июнь	0,002	0,08	0,05	–0,21	–0,008	–0,017
Июль	0,57	–0,27	–0,45	–0,28	0,32	–0,022
Август	0,58	–0,50	–0,25	–0,15	0,14	–0,035
Сентябрь	0,51	–0,50	–0,24	–0,26	0,36	–0,027

Table 1

Average SPEI values for the Kochenevo weather station in certain periods from 1970 to 2020

Month	From 1970 to 1980	From 1981 to 1990	From 1991 to 2000	From 2001 to 2010	From 2011 to 2020	Mean
April	–0.63	0.20	0.07	0.60	–0.27	–0.007
May	–0.271	0.34	–0.17	–0.04	0.18	0.009
June	0.002	0.08	0.05	–0.21	–0.008	–0.017
July	0.57	–0.27	–0.45	–0.28	0.32	–0.022
August	0.58	–0.50	–0.25	–0.15	0.14	–0.035
September	0.51	–0.50	–0.24	–0.26	0.36	–0.027

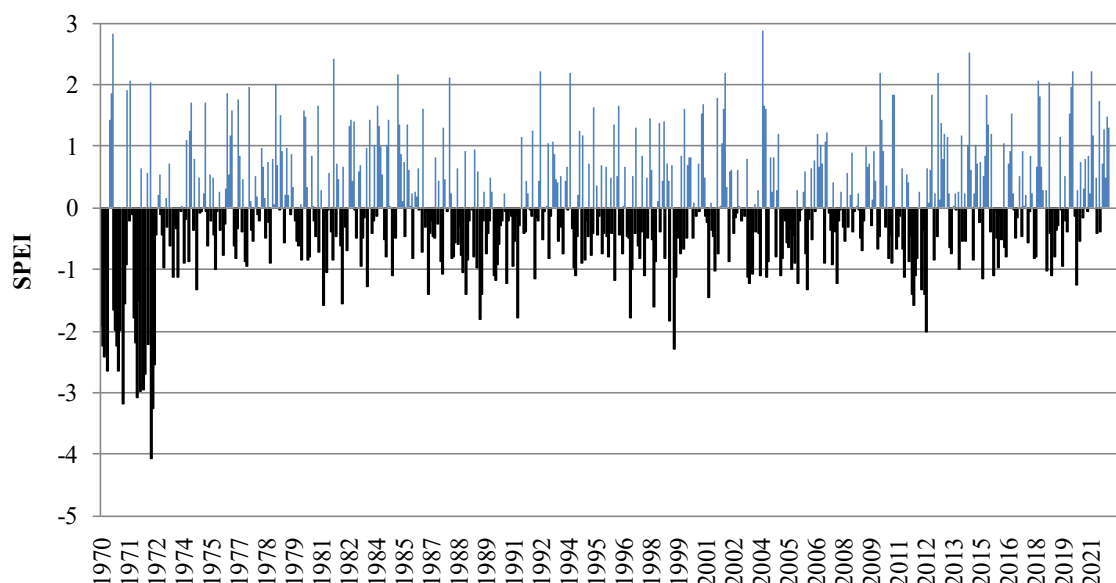


Рис. 2. Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для метеостанции Коченево Новосибирской области

Fig. 2. Standardized precipitation and evaporation index for the Kochenevo weather station in the Novosibirsk region

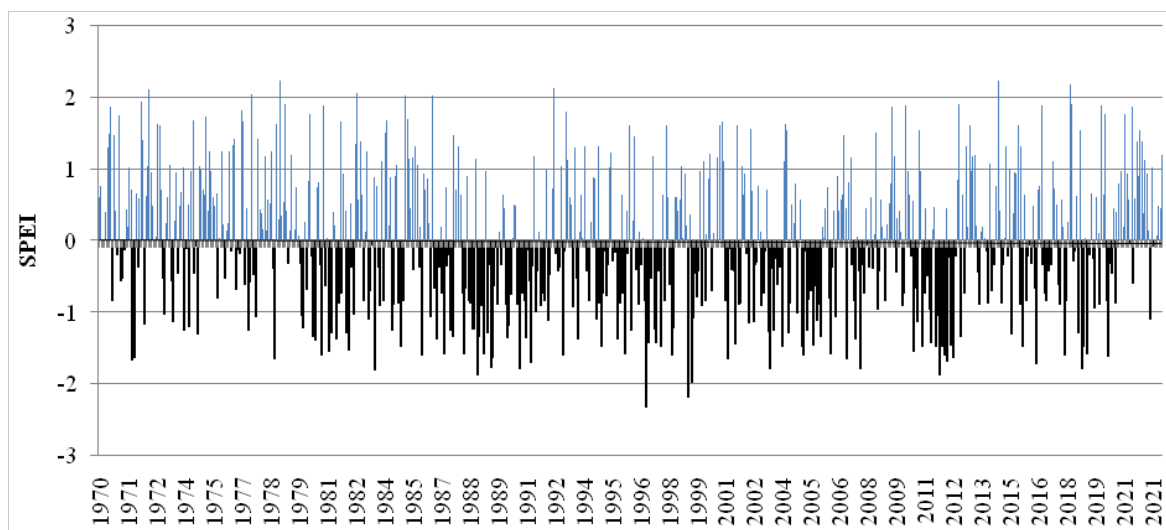


Рис. 3. Значение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для метеостанции Ордынское Новосибирской области

Fig. 3. Standardized precipitation and evaporation index for the Ordynskoye weather station, Novosibirsk region

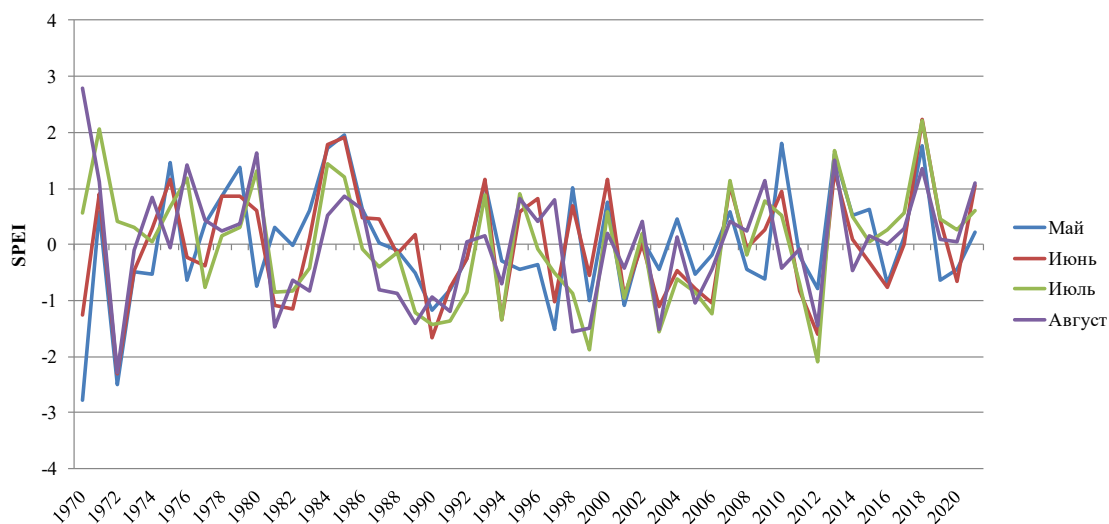


Рис. 4. Изменение стандартизованного индекса осадков и испаряемости для вегетационного периода зерновых культур (метеостанция Коченево) в период с 1970 по 2021 гг.

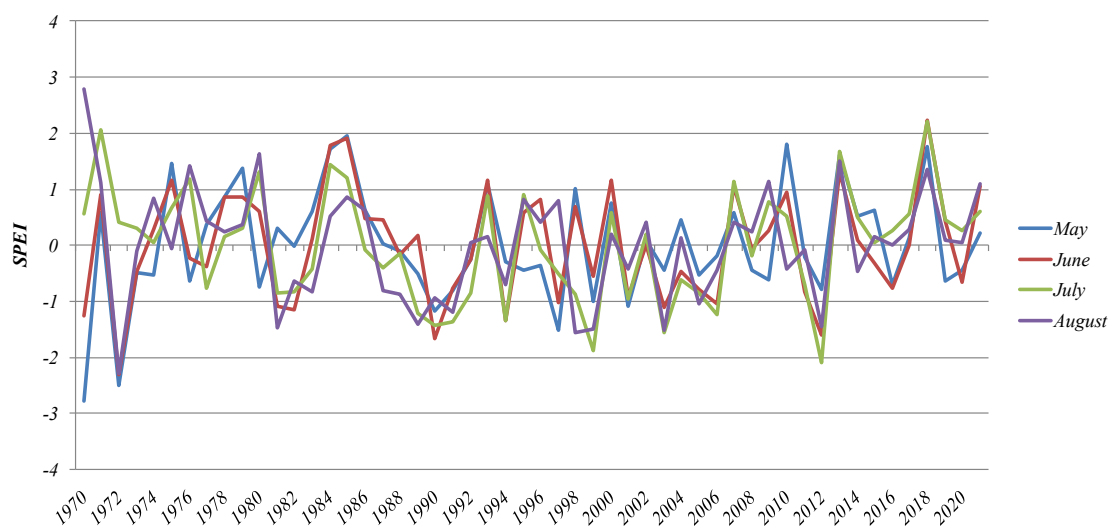


Fig. 4. Changes in the standardized index of precipitation and evaporation for the growing season of grain crops (Kochenevo weather station) from 1970 to 2021

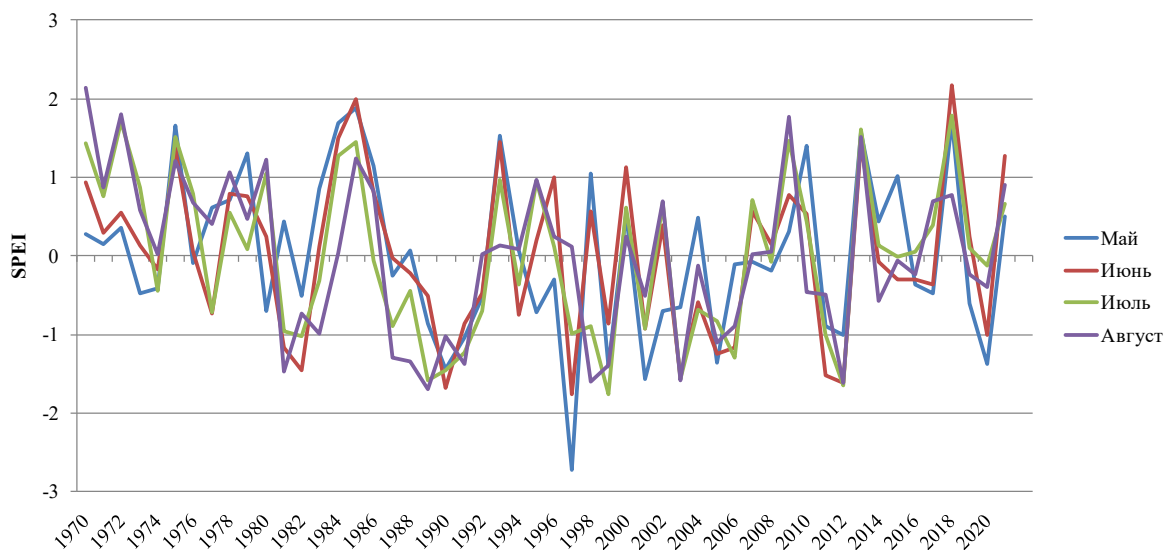


Рис. 5. Изменение SPEI в течение вегетационного периода зерновых культур (метеостанция Ордынское) с 1970 по 2021 гг.

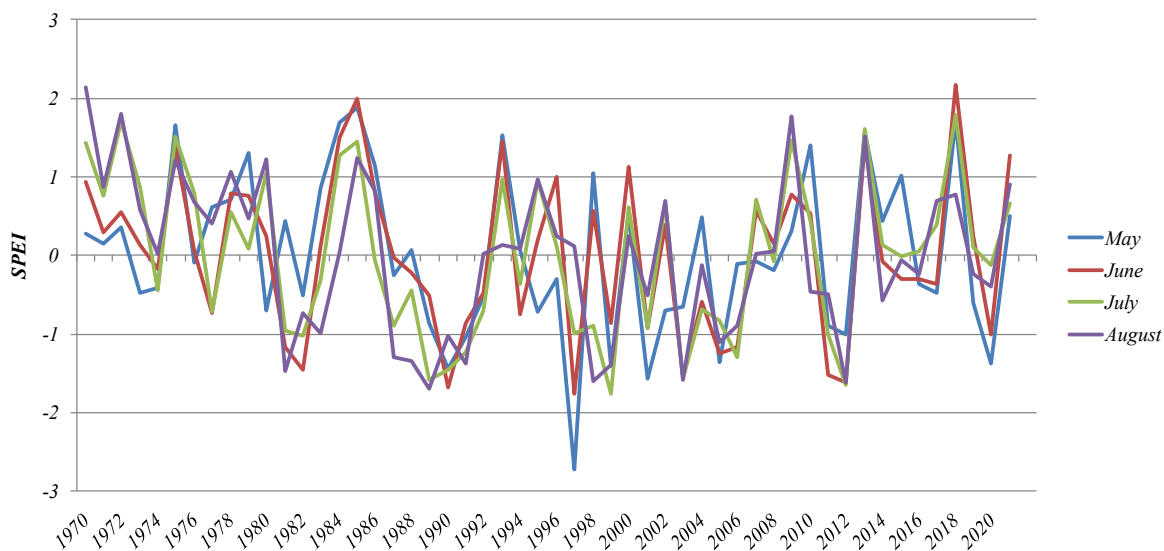


Fig. 5. Change in SPEI during the growing season of grain crops (Ordynskoye weather station) from 1970 to 2021

Характер изменения SPEI в отдельные годы существенно отличается. Стандартизированный индекс осадков и испаряемости за период вегетации зерновых культур с мая по август изменяется в широких диапазонах относительно нормального увлажнения (рис. 2). На рис. 4 и рис. 5 синим цветом обозначены границы значений SPEI при нормальном увлажнении. Для сравнительного анализа интенсивности засухи выполнена оценка тепло- и влагообеспеченности для следующих лет: 1972, 1999 и 2012.

На севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Коченево) в 1972 году май, июнь и август характеризуются как экстремально засушливые. Значения SPEI превышают -2 (рис. 6, а). Для данных месяцев наблюдает-

ся положительное отклонение средней месячной температуры приземного воздуха от нормы на 1°C , 18°C и 26°C соответственно (рис. 7, а). При этом обеспеченность осадками за вегетационный период с мая по август составила 165 %, 205 %, 90 % соответственно. Значения выпавших осадков за указанные месяцы превышают норму в мае на 22 мм, в июне – на 49 мм (рис. 8, а). В августе 1972 года количество выпавших осадков меньше нормы на 4 мм. Для июля характерно увлажнение, близкое к нормальному, отклонение средней месячной температуры воздуха ниже нормы на 5°C , а обеспеченность осадками составила 200 %. Количество выпавших осадков превысило среднее многолетнее значение на 53 мм (рис. 8, а). Значение SPEI положительное и составило 0,40.

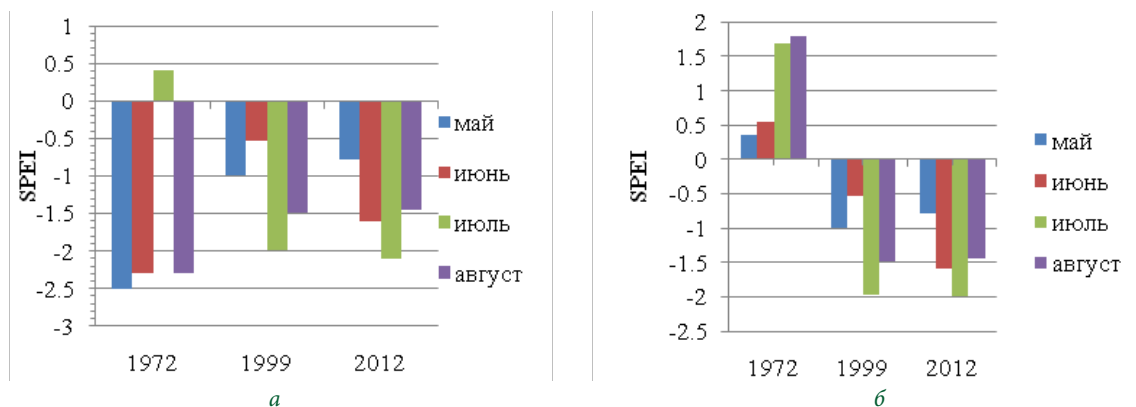


Рис. 6. Значение SPEI за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а) метеостанция Коченево, б) метеостанция Ордынское

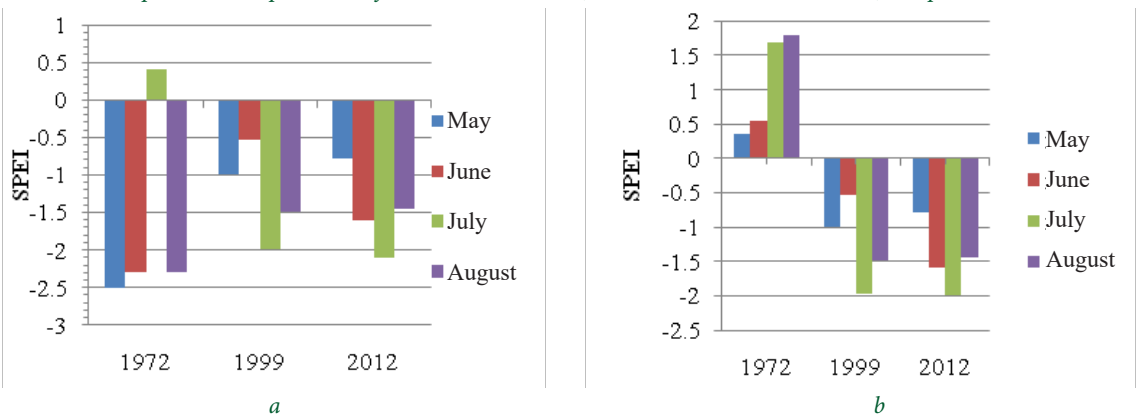


Fig. 6. SPEI for the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobskiy agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station

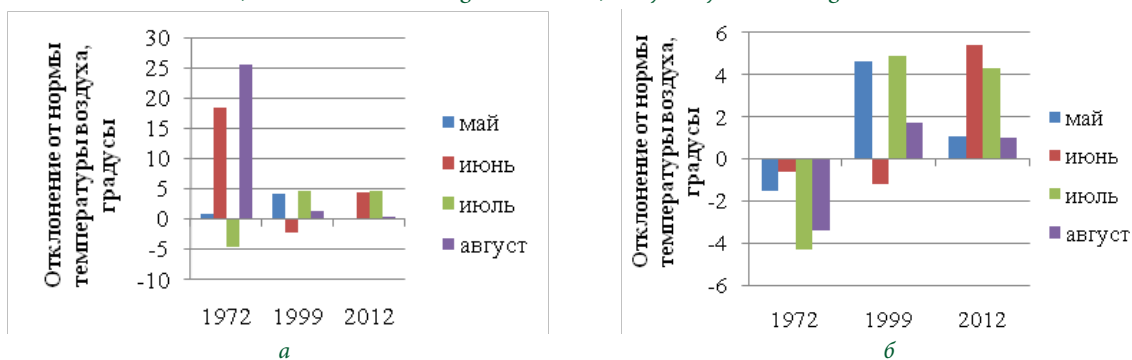


Рис. 7. Отклонение от нормы температуры воздуха за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а – метеостанция Коченево, б – метеостанция Ордынское

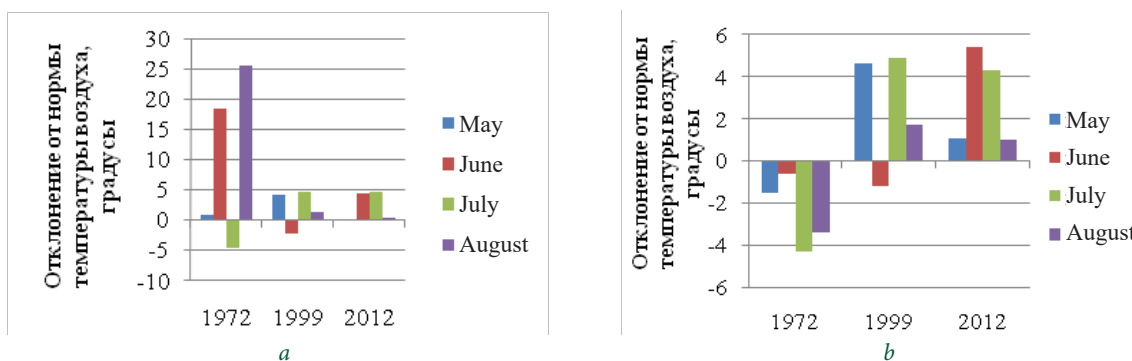


Fig. 7. Air temperature deviation from the norm during the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobskiy agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station

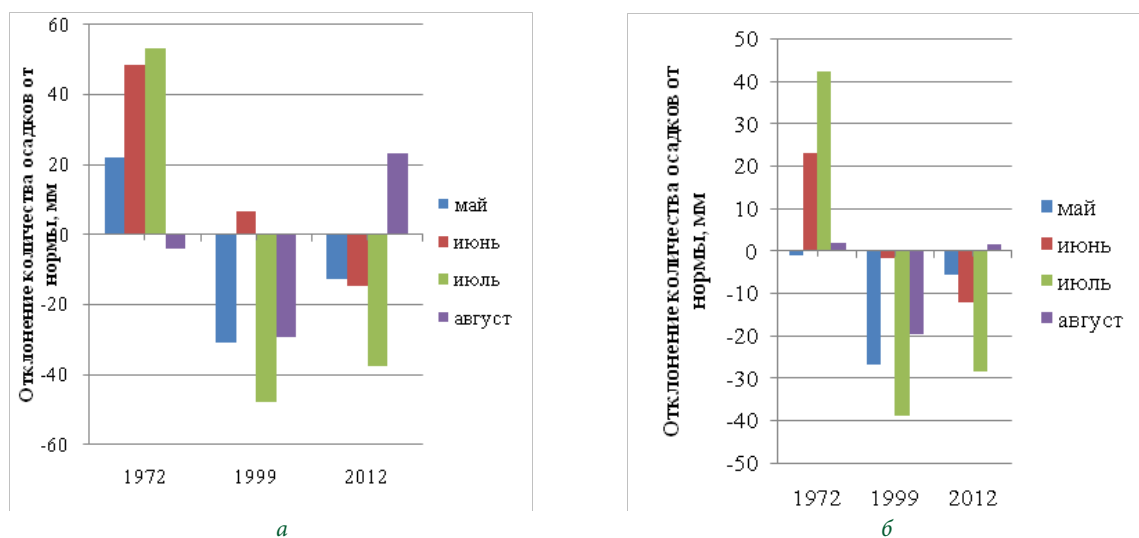


Рис. 8. Отклонение количества осадков от нормы за период вегетации зерновых культур для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта: а) метеостанция Коченево, б) метеостанция Ордынское

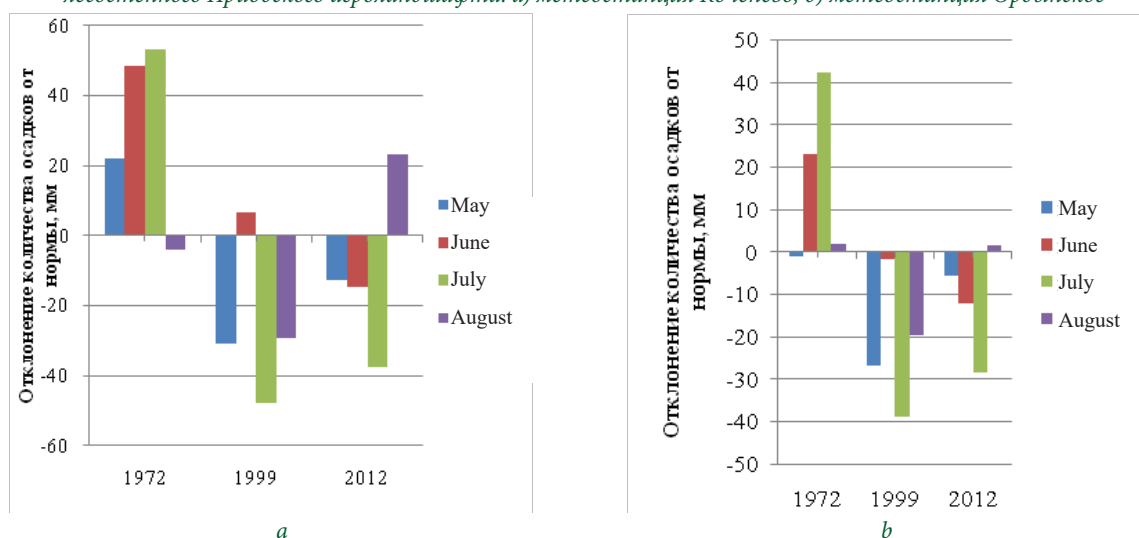


Рис. 8. Deviation of precipitation from the norm during the growing season of grain crops for the central forest-steppe Priobsky agrolandscape: a) Kochenevo meteorological station, b) Ordynskoye meteorological station

На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Ордынское) в 1972 году условия увлажнения вегетационного периода различны по месяцам. Май и июнь характеризуются увлажнением, близким к нормальному, с положительным знаком (рис. 6, б). Значение SPEI для данных месяцев составило соответственно 0,36 и 0,55. Июль и август характеризуются сильным увлажнением (значения SPEI составили 1,70 и 1,80). Для данных месяцев наблюдается значение температуры воздуха ниже нормы на 4 °C и 3 °C и высокая обеспеченность осадками – 185 % и 105 % соответственно. Количество выпавших осадков превышает нормы в июне на 23 мм, в июле – на 42 мм, в августе – на 2 мм (рис. 7, б).

В 1999 году на севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта для мая характерна слабая интенсивность засухи (SPEI = -1,0) при повышенной средней месячной температуре воздуха относительно нормы на 5 °C. Отмечена очень низ-

кая обеспеченность осадками (16 %), что составляет меньше на 27 мм относительно нормы. Условия увлажнения в июне близки к нормальным. Отклонение температуры воздуха от нормы составило -1 °C, а обеспеченность осадками – 96 % (на 2 мм меньше нормы). Для июля и августа характерна сильная и умеренная засуха с климатическими индексами SPEI, равными -1,98 и -1,49 (рис. 6, а). При сравнении с условиями тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода 1999 года для юга центрально-лесостепного агроландшафта (метеостанция Ордынское) май и август характеризуются умеренной интенсивностью засухи со значениями SPEI -1,40 и -1,38 соответственно (рис. 6, б). Для июня характерна слабая интенсивность засухи, при которой отклонение приземной температуры воздуха от нормы меньше на 1 °C, осадков меньше на 2 мм (обеспеченность 96 %), а стандартизированный индекс осадков и испаряемости равен -0,86.

Для севере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта (метеостанция Коченево) в мае в 2012 года характерно распространение засухи со слабой интенсивностью (SPEI = -0,78). В июне и июле превышение температуры от нормы составило 4°C и 5 °C соответственно (рис. 7, а), а обеспеченность осадками в июле очень низкая и составила 30 % от нормы (меньше на 38 мм) (рис. 8, а). Июль характеризуется как экстремально засушливый с климатическим индексом SPEI, равным -2,1.

На юге центрально-лесостепного Приобского агроландшафта в мае 2012 года наблюдается слабая интенсивность засухи при повышенной температуре воздуха на 1 °C от нормы и обеспеченности осадками 85 %. Июнь, июль и август характеризуются как сильнозасушливые с превышением средней месячной температуры воздуха от 1 °C до 5 °C. В июле обеспеченность осадками очень низкая, составила 43 % (меньше нормы на 28 мм). Наиболее жаркий месяц июль характеризуется климатическим индексом SPEI, равным 1,65.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате выполнена оценка агроклиматических условий увлажненности вегетационного периода зерновых культур на основе временного анализа стандартизированного индекса осадков и испаряемости на примере Новосибирской области. Полученные значения климатического индекса SPEI разного временного масштаба от одного месяца до одного календарного года позволили выявить сильно засушливые и экстремально засушливые годы. В результате оценки засухи для центрально-лесостепного Приобского агроландшафта выявлено следующее:

- среднее многолетнее значение SPEI с апреля по сентябрь за период с 1970 по 2021 год близко к нормальному;
- оценка метеорологической засухи с различным временным интервалом от одного месяца до одного календарного года позволяет выявить силь-

но засушливые и экстремально засушливые годы на основе визуального распределения значений SPEI за период с 1970 по 2021 год;

- интенсивность засухи в границах одного агроландшафта может существенно отличаться. Например, в 1972 году на севере центрально-лесостепного агроландшафта за период вегетации зерновых культур отдельные месяцы по степени проявления засухи можно охарактеризовать как экстремально и сильно засушливые, а на юге агроландшафта для данного года выявлено избыточное увлажнение с отклонением температуры приземного воздуха от нормы на 1–4,3 °C и очень высокой обеспеченностью осадками (200 %);

- на интенсивность засухи оказывают влияние превышение температуры приземного воздуха относительно нормы, сильная и экстремальная засуха наблюдается при превышениях температуры от нормы на 4–5 °C;

- интенсивность засухи за период вегетации культур в сильно и экстремально засушливые годы по отдельным месяцам вегетации зерновых культур в границах одного агроландшафта отличается.

В процессе комплексной оценки увлажненности вегетационного периода зерновых культур необходимо учитывать не только количество выпавших осадков и величину теплообеспеченности, но и значения отклонений данных показателей от нормы. На значение стандартизированного индекса осадков и испаряемости оказывает существенное влияние значение температуры воздуха. Превышение средней месячной температуры воздуха на 4–5 °C от нормы при средней или низкой обеспеченности осадками связано с сильной и экстремальной интенсивностью засухи. Интенсивность и продолжительность метеорологической засухи в границах одного агроландшафта может существенно отличаться. Поэтому предлагается выполнять оценку засухи при использовании данных об осадках и температурах воздуха для конкретной метеорологической станции.

Библиографический список

1. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. M. B. Tignor, et al. (eds.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург: Научно-технологические исследования, 2022. 124 с.
3. Страшная А. И., Бирман Б. А., Береза О. В. Особенности засухи 2012 г. на Урале и в Западной Сибири и ее влияние на урожайность яровых зерновых культур // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). С. 154–169.
4. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (1). С. 58–65.
5. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6. С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.

6. Zhang H., Yin G., Zhang L. Evaluating the impact of different normalization strategies on the construction of drought condition indices // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022. Vol. 323 (5). Article number 109045. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109045.
7. Müller L. M., Bahn M. Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought // *Global Change Biology*. 2022. Vol. 28. Pp. 5086–5103.
8. Wang Q., Zhang R., Qi J., Wu J., Shui W., Wu X., Li J. An improved daily standardized precipitation index dataset for mainland China from 1961 to 2018 // *Scientific Data*. 2022. Vol. 9. Article number 124. DOI: 10.1038/s41597-022-01201-z.
9. Araneda-Cabrera R. J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 790. Article number 148090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148090.
10. Wang Y., Yang J., Chen Y., Su Z., et al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area, China // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12 (14). Article number 2298. DOI: 10.3390/rs12142298.
11. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia // *Sustainability*. 2023. Vol. 15 (13). Article number 10652. DOI: 10.3390/su151310652.
12. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects // *Climate*. 2022. Vol. 10 (9). Article number 125. DOI: 10.3390/cli10090125.
13. Li L., She D., Zheng H., Lin P., Yang Z.-L. Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China // *Journal of Hydrometeorology*. 2020. Vol. 21, Iss. 7. Pp. 1513–1530.
14. Погода и климат Новосибирской области [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/54/Novosibirskaya%20Oblast> (дата обращения: 11.01.2023).
15. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://meteoinfo.ru> (дата обращения: 11.01.2023).
16. Global Precipitation Measurement (GPM) [Электронный ресурс]. URL: <https://gpm.nasa.gov/data/visualizations/precip-apps> (дата обращения: 11.01.2023).
17. Павлова А. И. Пространственные базы данных агрономических геоинформационных систем // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 5. С. 336–349.

Об авторе:

Анна Илларионовна Павлова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Новосибирского государственного университета экономики и управления, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0001-6159-1439, AuthorID 341749. E-mail: annstab@mail.ru

References

1. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / H.-O. Pörtner, D. Roberts, M. M. B. Tignor, et al. (eds.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844.
2. *Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary*. Saint Petersburg: High technology, 2022. 124 p. (In Russ.)
3. Strashnaya A. I., Birman B. A., Bereza O. V. Peculiarities of drought in 2012 in the Urals and in Western Siberia and its impact on the yield of spring grain crops. *Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2018; 2 (368): 154–169. (In Russ.)
4. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 58–65. (In Russ.)
5. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review). *Grain Farming in Russia*. 2019; 6: 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>. (In Russ.)
6. Zhang H., Yin G., Zhang L. Evaluating the impact of different normalization strategies on the construction of drought condition indices. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2022; 323 (5): 109045. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109045.
7. Müller L. M., Bahn M. Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought. *Global Change Biology*. 2022; 28: 5086–5103.
8. Wang Q., Zhang R., Qi J., Wu J., Shui W., Wu X., Li J. An improved daily standardized precipitation index dataset for mainland China from 1961 to 2018. *Scientific Data*. 2022; 9: 124. DOI: 10.1038/s41597-022-01201-z.

9. Araneda-Cabrera R. J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina. *Science of the Total Environment*. 2021; 790: 148090. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148090.
10. Wang Y., Yang J., Chen Y., Su Z., et. al. Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area, China. *Remote Sensing*. 2020; 12 (14): 2298. DOI: 10.3390/rs12142298.
11. Muse N. M., Taufur G., Safari M. J. S. Meteorological Drought Assessment and Trend Analysis in Puntland Region of Somalia. *Sustainability*. 2023; 15 (13): 10652. DOI: 10.3390/su151310652.
12. Ndayiragije J. M., Li F. Effectiveness of Drought Indices in the Assessment of Different Types of Droughts, Managing and Mitigating Their Effects. *Climate*. 2022; 10 (9): 125. DOI: 10.3390/cli10090125.
13. Li L., She D., Zheng H., Lin P., Yang Z.-L. Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*. 2020; 21 (7): 1513–1530.
14. Weather and climate of the Novosibirsk region [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 11]. URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/54/Novosibirskaya%20Oblast>.
15. *Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jan 11]. URL: <https://meteoinfo.ru>.
16. *Global Precipitation Measurement (GPM)* [Internet] [cited 2023 Jan 11] URL: <https://gpm.nasa.gov/data/visualizations/precip-apps>.
17. Pavlova A. I. Spatial databases of agronomic geoinformation information systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021; 13 (5): 336–349.

Author's information:

Anna I. Pavlova, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of information technologies, Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0001-6159-1439, AuthorID 341749. E-mail: annstab@mail.ru

Результаты оценки совместимости сортов груши с карликовыми подвоями селекции ВНИИСПК для интенсивных технологий плодопроизводства в Центральной России

И. В. Семин[✉]

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

[✉]E-mail: seminigorvniispk.ru@yandex.ru

Аннотация. Проблемы промышленного производства плодов груши в средней полосе России обусловлены прежде всего отсутствием подвоя интенсивного типа с оптимальными хозяйственно-биологическими признаками и высокой экологической пластичностью. **Цель исследования** – дать оценку совместимости привойно-подвойных комбинаций различных сортов груши, имеющих промышленное значение, с карликовыми подвоями на основе айвы обыкновенной селекции ВНИИСПК. Результаты исследований позволят закладывать интенсивные сады груши в условиях Центральной России. **Методы.** Исследования проводили в 2008–2010 и 2018–2023 гг. с участием 50 сортов груши. Опыт закладывали в условиях научно-производственного питомника на базе ВНИИСПК в трехкратной повторности методом окулировки на двухлетние сеянцы айвы обыкновенной. В каждой повторности 11 учетных растений. Оценка совместимости привойно-подвойных комбинаций проводили визуально в течение вегетации. **Научная новизна.** В Центральном регионе России оценка совместимости карликовых семенных подвоев на основе айвы обыкновенной селекции ВНИИСПК с перспективными для промышленного производства сортами груши проводится впервые. **Результаты.** На основе полученных данных исследований привойно-подвойные комбинации были разделены на три группы совместимости: А – совместимые с айвовым подвоем сорта, показавшие высокое качество срастания, интенсивное развития привоев и наилучшее качество саженцев груши в условиях питомника; В – удовлетворительно совместимые, которые, являясь вполне жизнеспособными привойно-подвойными комбинациями, проявили единичные признаки отрицательного аффинитета и недостаточно эффективны для интенсивного производства; С – несовместимые сорта груши. Представлены основные качественные показатели саженцев груши.

Ключевые слова: семенной подвой, айва обыкновенная, сорта груши, привойно-подвойные комбинации, совместимость


Для цитирования: Семин И. В. Результаты оценки совместимости сортов груши с карликовыми подвоями селекции ВНИИСПК для интенсивных технологий плодопроизводства в Центральной России // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 617–627. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-617-627>.

Дата поступления статьи: 25.01.2024, **дата рецензирования:** 15.02.2024, **дата принятия:** 28.03.2024.

The results of the evaluation of the compatibility of pear cultivars with dwarf rootstocks of VNIISPK breeding for intensive fruit production technologies in Central Russia

I. V. Semin 

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

 E-mail: seminigorvniispk.ru@yandex.ru

Abstract. The problems of industrial production of pear fruits in the central part of Russia are primarily associated with the absence of an intensive type of rootstock with optimal economic and biological characteristics and high environmental plasticity. **The purpose** of the study is to assess the compatibility of graft–rootstock combinations of various pear cultivars of industrial importance with dwarf rootstocks based on common quince of VNIISPK breeding. The results of the studies will make it possible to lay intensive pear orchards in the conditions of Central Russia. **Methods.** The studies were carried out with 50 pear cultivars in 2008–2010 and 2018–2023. The experiment was laid in the scientific and production nursery on the basis of VNIISPK in 3-fold repetition by the method of grafting on two-year-old quince seedlings. There were 11 accounting plants in each repetition. The compatibility of graft–rootstock combinations was assessed visually during the growing season. **Scientific novelty.** In the Central region of Russia, the assessment of compatibility of dwarf seed stocks based on common quince of VNIISPK breeding with pear cultivars promising for industrial production is carried out for the first time. **Results.** Based on the obtained research data, the graft–rootstock combinations were divided into three compatibility groups: A – cultivars compatible with quince stock that showed high quality of accretion, intensive development of grafts and the best quality of pear seedlings in nursery conditions; B – satisfactorily compatible, which, being quite viable graft–rootstock combinations, showed isolated signs of negative affinity and were not effective enough for intensive production; C – incompatible pear cultivars. The main qualitative characteristics of pear seedlings are presented.

Keywords: seed scion, common quince, pear cultivars, graft–rootstock combinations, compatibility

For citation: Semin I. V. The results of the evaluation of the compatibility of pear cultivars with dwarf rootstocks of VNIISPK breeding for intensive fruit production technologies in Central Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 617–627. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-617-627>. (In Russ.)

Date of paper submission: 25.01.2024, **date of review:** 15.02.2024, **date of acceptance:** 28.03.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В структуре производства плодовой продукции в России груша занимает одно из ведущих мест, уступая лишь яблоне. По своим природно-климатическим условиям Центральный регион России благоприятен для промышленного возделывания груши. Однако на практике промышленных садов уже много лет не закладывается. Это связано с отсутствием подвоя интенсивного типа с комплексом оптимальных хозяйственно полезных признаков, адаптированного к условиям средней полосы России. Поиск, изучение и внедрения в производство новых экологически приспособленных подвоев для груши – актуальная задача в современной интенсификации садоводства [1]. В большинстве зарубежных стран и во многих южных регионах России широко используется айва обыкновенная. Среди множества вегетативных форм активно применяются айва А, С, ВА-29, МА, ИС 4-6, ИС 4-12, ИС 2-10, И 4-15. В большинстве регионов России они не зи-

мостойки и могут использоваться лишь для областей с мягким климатом. Ценностью айвы является способность ускорять вступление привитых на нее сортов в пору плодоношения до 3–5 лет, сдерживать высоту деревьев на приемлемых для производства величинах, повышать реализацию потенциальных возможностей сортов [2; 3]. В период полного плодоношения продуктивность интенсивного сада груши на карликовом подвое в 1,5–2,0 раза выше, чем на сильнорослом. Ценным свойством является и поверхностное расположение корней, что позволяет возделывать сады на участках с близким залеганием грунтовых вод и использовать влагу поливов и подкормки удобрений более эффективно. Однако у айвы имеются и недостатки [1]. В первую очередь это недостаточная морозостойкость и зимостойкость растений, что до недавнего времени являлось основным препятствием использование подвоя в Центральных регионах России. На сегодняшний день учеными ВНИИСПК получены отборные зи-

мостойкие формы, способные переносить климат средней полосы России. Установлено, что корни отдельных сеянцев айвы обыкновенной селекции ВНИИСПК могут без повреждений переносить понижение температуры почвы до минус 11–12 °С [4–6]. Примерно такие же показатели характерны и для корневой системы грушевых подвоев. При этом сеянцы более зимостойки, чем вегетативно размноженные подвои. Интенсивное производство посадочного материала плодовых культур и реализация промышленных садов опираются на использование слаборослых клоновых подвоев, которые, безусловно, имеют ряд преимуществ [3; 7]. Прежде всего это генетическая однородность по совместимости, высоте деревьев, размеру и качеству плода, продуктивности, адаптивности и другим хозяйственно полезным показателям [2]. Однако из-за поверхностного расположения корней ввиду недостаточной якорности такие сады чаще всего требуют опорных сооружений, что увеличивает экономические издержки на эксплуатацию сада. Семенное размножение подвоев относительно дешевле, проще, чем клоновое, и имеет более высокую производительность. Мощная корневая система сеянцев с выраженным главным и множеством скелетных корней обеспечивает достаточно прочное закрепление растений в почве [7]. Другим важным недостатком айвы как подвоя для груши является неодинаковая совместимость с привоями, которая зависит от характера взаимодействия разновидовых компонентов прививки [1; 3; 8; 9; 10]. Не все сорта груши имеют положительное срастание с подвоем. Так, с одними создаются полноценные высокопродуктивные сочетания, иные жизнеспособны, но развиваются угнетенно, часто со сниженной урожайностью, а третьи не могут сформировать продуктивную комбинацию и погибают в начале своего развития. При этом в литературе встречается информация, что один и тот же сорт груши может иметь разный характер развития и аффинитета на подвоях айвы обыкновенной. По данным [1], сорт Кюре совместим с большинством клоновых форм айвы обыкновенной без каких-либо признаков отторжения, но отмечены случаи отрицательного аффинитета с айвой А и отборными формами айвы 202/1 3/36 и 211/10 4/27, где выделялись слабый рост и угнетение привоев. Сорт Любимица Клаппа проявляет несовместимость с клоновыми подвоями 202/1, 3/36 и А, но прекрасно растет и плодоносит на большинстве других клонов айвы обыкновенной. В опытах ФНЦ агроэкологии РАН Поволжья сорта груши Банкетная, Докторская и Версия слабо совместимы с сеянцами айвы обыкновенной, показывают медленный рост и угнетение привоев, но имеют высокое качество срастания и выход стандартных саженцев на клоновых подвоях айвы ВА-29 и подвойной формы № 1 [11]. Сорт груши Конференция совместим практически со всеми

семенными и клоновыми подвоями айвы обыкновенной [12].

В связи с этим целью наших исследований было выявить в условиях питомника привойно-подвойные комбинации, совместимые и несовместимые с семенными подвоями селекции ВНИИСПК для закладки садов интенсивного типа в средней полосе России.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили на базе ВНИИСПК в условиях научно-производственного питомника в период 2008–2010 и 2018–2023 годов. Объектами исследований служили привойно-подвойные комбинации из сортов груши биоресурсной коллекции ВНИИСПК и карликовых подвоев. В качестве подвоев использовали сеянцы айвы обыкновенной селекции института, которые являлись вторым поколением от отборных зимостойких форм. Исходные растения были выделены после суровых условий зим 2002/2003 и 2005/2006 годов. Большинство клонов (в том числе айва А, БА-29, ИС-2-10, айва Северная Мичурина и др.) вымерзли в первые годы испытаний, что позволило считать айву селекции ВНИИСПК самой зимостойкой из них. Семенные подвои высаживали в первое поле питомника по схеме 0,7 × 0,2 м рядами по 33 растений в каждом варианте опыта. Часть растений в начале и в конце ряда использовали как защитную полосу и в опыте не учитывали. Окулировку производили по стандартной технологии методом в приклад в июле – августе. Повторность опыта трехкратная по 11 учетных растений в каждой. Контролями сравнения со стороны оценки семенного подвоя айвы обыкновенной выступали сеянцы груши, поскольку это единственный в средней полосе России подвой для промышленного производства, а со стороны оценки привоя применялся сорт груши Конференция. Он отлично удается на айвовом подвое и максимально полно реализует свой потенциал, совместим с большинством клоновых форм айвы обыкновенной, используемых за рубежом. Для привоев использовали 50 сортов груши биоресурсной коллекции ВНИИСПК: 13 сортов орловской селекции: Аннушка, Ботаническая, Есенинская, Лира, Муратовская, Орловская красавица, Орловская летняя, Памятная, Русановская, Тютчевская, Январская и 2 новых потенциальных сорта Алая и Площанская; 8 сортов мичуринской селекции: Августовская роса, Гера, Кармен, Красавица Черненко, Ника, Памяти Яковлева, Скороспелка из Мичуринска и Эсмеральда; 7 сортов белорусской селекции: Белорусская поздняя, Духмяная, Забава, Завеса, Пасхальная, Просто Мария и Ясачка; 5 сортов московской селекции: Велеса, Видная, Лада, Чижовская и Феерия; 5 сортов европейского происхождения: Гранд чемпион, Конференция, Ксения, Нарт и Парижанка; 5 сортов нижеволжской селекции: Банкетная, Маршал Жу-

ков, Розовый бочонок, Самарская зимняя и Самарская красавица; 3 сорта росошанской селекции: Мраморная, Татьяна и Тихий Дон; 2 сорта брянской селекции: Брянская красавица и Кокинская и 2 сорта родом из передней Азии: Киргизская зимняя и Талгарская красавица. Выкопку саженцев производили в сентябре. Совместимость привойно-подво-

йных комбинаций оценивали по методу Коровина [13]. Показатели качества саженцев оценивали согласно Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [14]. Агротехника выращивания подвоев и саженцев в питомнике общепринятая.

Таблица 1
Совместимость айвы обыкновенной с сортами груши (2008–2023 гг.)

№	Группа А Совместимые с айвой сорта. Развитие лучше, чем на грушевом подвое. Признаков несовместимости нет	Группа В Удовлетворительно совместимые с айвой сорта. Развитие как на грушевом подвое. Есть единичные признаки несовместимости	Группа С Несовместимые с айвой сорта. Развитие хуже, чем на грушевом подвое. Проявляется большая часть или все признаки несовместимости с подвоем
1	Августовская роса	Аннушка	Завея
2	Алая	Велеса	Кармен
3	Банкетная	Видная	Орловская красавица
4	Белорусская поздняя	Гера	Орловская летняя
5	Ботаническая	Киргизская зимняя	Русановская
6	Брянская красавица	Кокинская	Скороспелка из Мичуринска
7	Гранд чемпион	Красавица Черненко	Тихий Дон
8	Духмяная	Ксения	
9	Есенинская	Лада	
10	Забава	Лира	
11	Конференция	Маршал Жуков	
12	Муратовская	Мраморная	
13	Ника	Нарт	
14	Памяти Яковлева	Памятная	
15	Парижанка	Площанская	
16	Пасхальная	Просто Мария	
17	Самарская зимняя	Розовый бочонок	
18	Самарская красавица	Талгарская красавица	
19	Тютчевская	Татьяна	
20	Январская	Чижовская	
21	Ясачка	Феерия	
22		Эсмеральда	

Table 1
Compatibility of common quince with pear cultivars (2008–2023)

No.	A group pear cultivars compatible with quince. The development is better than on a pear rootstock. No signs of incompatibility	B group Pear cultivars satisfactorily compatible with quince. Development as on a pear rootstock. Isolated signs of incompatibility	C group Pear cultivars incompatible with quince. The development is worse than on a pear rootstock. Most or all of the signs of incompatibility with the stock are manifested
1	Avgustovskaya Rosa	Annushka	Zaveya
2	Alaya	Velesa	Karmen
3	Banketnaya	Vidnaya	Orlovskaya krasavitsa
4	Belorusskaya pozdnyaya	Gera	Orlovskaya letnyaya
5	Botanicheskaya	Kirgizskaya zimnyaya	Rusanovskaya
6	Bryanskaya krasavitsa	Kokinskaya	Skorospelka iz Michurinska
7	Grand chempion	Krasavitsa Chernenko	Tikhiy Don
8	Dukhmyanaya	Kseniya	
9	Eseninskaya	Lada	
10	Zabava	Lira	
11	Conference	Marshal Zhukov	
12	Muratovskaya	Mramornaya	
13	Nika	Nart	
14	Pamyati Yakovleva	Pamyatnaya	
15	Parizhanka	Ploshchanskaya	
16	Paskhal'naya	Prosto Mariya	
17	Samarskaya zimnyaya	Rozovyy Bochonok	
18	Samarskaya Krasavitsa	Talgarskaya krasavitsa	
19	Tyutchevskaya	Tatyana	
20	Yanvarskaya	Chizhovskaya	
21	Yasachka	Feeriya	
22		Esmeral'da	

Результаты (Results)

В условиях питомника приживаемость сеянцев после посадки составляла в среднем 90–96 %. Ежегодно к окулировке были пригодны 94–97 % сеянцев. Отмечена высокая порослеобразующая способность айвы, что вызывает необходимость дополнительных трудовых вложений в обрезке молодых побегов, появляющихся в зоне штамба подвоя.

Различий в приживаемости глазков во время осенней ревизии не выявлено. Однако установлено, что в отдельные годы в зависимости от погоды на сеянцах айвы обыкновенной отмечены случаи осеннего прорастания окулянтов. Вероятно, это связано с более активным прохождением фенологических фаз развития айвы обыкновенной по сравнению с грушей. Как правило, окулировку выполняли в конце июля или начале августа. Наблюдения показали, что при использовании айвовых подвоев смещение сроков окулировки на 2–3 недели оказывает влияние на прорастания глазков привоев. Так, сорта Есенинская, Тютчевская, Муратовская, Конференция, Белорусская поздняя, Памяти Яковлева, Орловская красавица, Кармен и Тихий Дон, заокучлированные 20–25 июля, показали прорастание глазков в осенний период в пределах 9–14 %. В то же время в вариантах, где сравнительное проведение окулировки этими сортами выполняли 10–15 августа, осенняя ревизия прорастания глазков не выявила. Не отмечено их и в вариантах, где окулировку выполняли 23–27 августа, но в этом случае при весенней ревизии отмечалась высокая гибель глазков. На подвоях груши различий в приживаемости, пробуждении почек привоя и их сохранности среди изучаемых сортов не установлено.

На сохранность окулянтов в зимний период прежде всего влияют сортовые особенности привоев. Так, сорта орловской, брянской, белорусской мичуринской и московской селекции показали меньшую гибель привоев, чем сорта нижеволжской, росошанской, европейской и азиатской селекции. Вероятно, это обусловлено недостаточной для климата региона зимостойкостью сортов.

Активный рост привоев на сеянцах айвы наблюдался во второй половине мая, когда сумма активных температур достигала 600 °С. Первыми начинали свое развитие совместимые с айвой сорта (таблица 1). Вегетация несовместимых с айвой сортов происходила позднее на 1–2 недели и более, чем при использовании грушевого подвоя.

В течение июня наблюдался поступательный рост привоев во всех изучаемых привойно-подвойных комбинациях. Несовместимые с айвой сорта показали затяжной характер развития. У сортов Кармен, Русановская и Тихий Дон на айвовом подвое отмечено угнетенное состояние. Сорта Орловская летняя, Орловская красавица, Завеса и Скоропелка из Мичуринска вначале интенсивно развивались, но затем замедлялись в развитии. Рост всех

совместимых с айвой сортов груши не отличался или был интенсивнее вариантов, где использовали грушевый подвой.

В июле отмечено одревеснение однолетнего прироста сортов с последующим замедлением в поступательном росте. В ходе наблюдений было замечено, что интенсивнее всего ветвились совместимые с айвой сорта. При этом по количеству и длине однолетнего прироста они почти в 1,5–2,2 раза превосходили варианты с сеянцами груши. Современные технологии производства посадочного материала ставят задачу получения саженцев с полноценным разветвлением привоев. Для большинства сортов груши это проблема, так как биологически эта культура имеет высокую пробудимость почек, но слабую побегообразовательную способность. В ходе наблюдений отмечается наличие большинства разветвлений привоя с длиной более 10 см в нижней части саженца, что указывает на формирование компактной кроны в будущем. Все боковые побеги отходят от основного проводника под прямым углом или близким к прямому. Это предполагает в будущем прочное крепление урожая в кроне дерева груши. Наилучшие результаты отмечены у сортов Белорусская поздняя, Памяти Яковлева, Есенинская, Тютчевская, Августовская роса, Муратовская, Конференция, Ясачка. Прирост привоев у них толще, чем при использовании грушевого подвоя, в среднем на 0,5–2,1 мм. Несовместимые с айвой сорта разветвлений однолетнего прироста не имели.

Активный рост груши продолжался до конца июля – начала августа. Затем происходило снижение развития ростовых процессов с формированием верхушечной почки однолетнего прироста. Все совместимые с айвой сорта до выкопки саженцев имели зеленую окраску листьев и здоровый вид. У всех несовместимых с айвой сортов отмечены остановка роста и изменение окраски листьев раньше других вариантов опыта. У сортов Площанская и Чижовская наблюдалось изменение цвета коры однолетнего прироста с появлением рыжего оттенка. Сорта Аннушка и Велеса на айвовом подвое полностью останавливались в поступательном росте, а на грушевом рост продолжался.

На основе полученных данных сорта груши были разделены на 3 группы совместимости с подвоем. Оценка производилась визуально в условиях питомника по качеству срастания с сеянцами айвы обыкновенной селекции ВНИИСПК и развитию привоев относительно вариантов с использованием сеянцев груши (таблица 1). В первую группу (А) вошел 21 сорт, показавший прочное срастание с подвоем, интенсивный рост в течение всей вегетации и высокий выход качественных саженцев. Привойно-подвойные комбинации проявили лучшее развитие на сеянцах айвы обыкновенной, чем на грушевых подвоях, и перспективны для дальнейших испытаний в саду.

Таблица 2

Качественные показатели совместимых с айвой саженцев груши (группа А) (2008–2023 гг.)

№	Сорта груши	Длина однолетнего прироста, см	Количество разветвлений, шт.	Средняя длина разветвлений, см	Суммарная длина прироста, см	Диаметр корневой шейки привоя, см	Диаметр корневой шейки подвоя, см	Количество скелетных корней, шт.	Длина скелетных корней, см
1	Белорусская поздняя	125,5	13,4	20,3	397,5	1,5	1,7	14,9	35,5
2	Тютчевская	139,0	6,6	32,6	354,2	1,8	1,7	38,2	50,0
3	Есенинская	131,5	12,1	17,0	337,2	1,4	1,5	20,6	27,0
4	Ясачка	115,4	9,9	19,8	311,4	1,3	1,5	14,8	32,5
5	Августовская роса	150,0	3,4	27,0	241,8	1,5	1,5	30,0	42,0
6	Памяти Яковлева	127,8	4,9	17,7	214,5	1,4	1,6	12,8	33,0
7	Муратовская	142,0	0,8	16,1	154,9	1,4	1,5	35,0	48,0
8	Конференция	145,0	0,9	5,9	150,3	1,4	1,4	23,8	40,0
9	Самарская зимняя	146,0	0,0	0,0	146,0	1,5	1,5	22,6	40,0
10	Ника	143,5	0,0	0,0	143,5	1,4	1,5	14,8	39,5
11	Самарская красавица	142,0	0,0	0,0	142,0	1,5	1,6	24,0	39,0
12	Банкетная	137,6	0,0	0,0	137,6	1,4	1,6	14,4	30,0
13	Брянская красавица	137,0	0,0	0,0	137,0	1,3	1,3	7,5	32,5
14	Алая	133,9	0,0	0,0	133,9	1,2	1,5	14,9	34,5
15	Пасхальная	130,0	0,0	0,0	130,0	1,2	1,3	24,4	36,0
16	Январская	103,4	2,2	10,9	127,4	1,2	1,4	20,1	35,7
17	Духмяная	121,0	0,0	0,0	121,0	1,3	1,3	9,3	29,0
18	Парижанка	114,0	0,0	0,0	114,0	1,4	1,5	22,4	32,0
19	Ботаническая	109,0	0,0	0,0	109,0	1,2	1,2	4,0	30,0
20	Гранд чемпион	90,0	0,8	1,4	91,1	1,1	1,3	9,2	31,0
21	Забава	90,1	0,0	0,0	90,1	1,0	1,1	15,5	32,0
	НСР ₀₅	31,2							

Table 2

Qualitative indications of pear seedlings compatible with quince (A group) (2008–2023)

No.	Pear cultivars	Annual increase length, cm	Number of branches, pcs.	Average length of branches, cm	Total length of growth, cm	Diameter of scion, cm	Diameter of rootstock, cm	Number of main roots, pcs.	Length of main roots, cm
1	<i>Belorusskaya pozdnyaya</i>	125.5	13.4	20.3	397.5	1.5	1.7	14.9	35.5
2	<i>Tyutchevskaya</i>	139.0	6.6	32.6	354.2	1.8	1.7	38.2	50.0
3	<i>Eseninskaya</i>	131.5	12.1	17.0	337.2	1.4	1.5	20.6	27.0
4	<i>Yasachka</i>	115.4	9.9	19.8	311.4	1.3	1.5	14.8	32.5
5	<i>Avgustovskaya Rosa</i>	150.0	3.4	27.0	241.8	1.5	1.5	30.0	42.0
6	<i>Pamyati Yakovleva</i>	127.8	4.9	17.7	214.5	1.4	1.6	12.8	33.0
7	<i>Muratovskaya</i>	142.0	0.8	16.1	154.9	1.4	1.5	35.0	48.0
8	<i>Conference</i>	145.0	0.9	5.9	150.3	1.4	1.4	23.8	40.0
9	<i>Samarskaya zimnyaya</i>	146.0	0.0	0.0	146.0	1.5	1.5	22.6	40.0
10	<i>Nika</i>	143.5	0.0	0.0	143.5	1.4	1.5	14.8	39.5
11	<i>Samarskaya krasavitsa</i>	142.0	0.0	0.0	142.0	1.5	1.6	24.0	39.0
12	<i>Banketnaya</i>	137.6	0.0	0.0	137.6	1.4	1.6	14.4	30.0
13	<i>Bryanskaya krasavitsa</i>	137.0	0.0	0.0	137.0	1.3	1.3	7.5	32.5
14	<i>Alaya</i>	133.9	0.0	0.0	133.9	1.2	1.5	14.9	34.5
15	<i>Paskhal'naya</i>	130.0	0.0	0.0	130.0	1.2	1.3	24.4	36.0
16	<i>Yanvarskaya</i>	103.4	2.2	10.9	127.4	1.2	1.4	20.1	35.7
17	<i>Dukhmyanaya</i>	121.0	0.0	0.0	121.0	1.3	1.3	9.3	29.0
18	<i>Parizhanka</i>	114.0	0.0	0.0	114.0	1.4	1.5	22.4	32.0
19	<i>Botanicheskaya</i>	109.0	0.0	0.0	109.0	1.2	1.2	4.0	30.0
20	<i>Grand champion</i>	90.0	0.8	1.4	91.1	1.1	1.3	9.2	31.0
21	<i>Zabava</i>	90.1	0.0	0.0	90.1	1.0	1.1	15.5	32.0
	LSD ₀₅	31.2							

Таблица 3

Качественные показатели удовлетворительно совместимых с айвой саженцев груши (группа В)
(2008–2023 гг.)

№	Сорта груши	Длина однолетнего прироста, см	Количество разветвлений, шт.	Средняя длина разветвлений, см	Суммарная длина прироста, см	Диаметр корневой шейки привоя, см	Диаметр корневой шейки подвоя, см	Количество скелетных корней, шт.	Длина скелетных корней, см
1	Ксения	97,0	11,8	13,0	250,4	1,2	1,3	14,8	43,0
2	Феерия	115,0	0,6	11,8	122,1	1,3	1,5	9,1	32,0
3	Гера	120,0	0,0	0,0	120,0	1,1	1,2	22,4	35,0
4	Киргизская зимняя	83,4	1,8	17,3	114,5	1,0	1,2	10,2	28,2
5	Памятная	112,6	0,0	0,0	112,6	1,2	1,3	12,8	34,7
6	Талгарская красавица	111,0	0,0	0,0	111,0	1,4	1,5	9,2	29,0
7	Чижовская	110,5	0,0	0,0	110,5	1,2	1,5	11,3	31,0
8	Видная	110,0	0,0	0,0	110,0	1,4	1,5	12,3	34,0
9	Эсмеральда	106,1	0,4	7,9	109,3	1,2	1,4	11,5	31,0
10	Площанская	107,2	0,0	0,0	107,2	1,2	1,2	4,0	31,0
11	Лира	106,6	0,0	0,0	106,6	1,3	1,4	16,4	33,0
12	Нарт	104,4	0,0	0,0	104,4	1,2	1,4	16,0	30,0
13	Просто Мария	100,5	0,0	0,0	100,5	1,3	1,5	10,1	37,0
14	Красавица Черненко	100,0	0,0	0,0	100,0	1,2	1,5	9,6	33,0
15	Велеса	100,0	0,0	0,0	100,0	1,3	1,5	14,6	34,0
16	Кокинская	95,0	0,0	0,0	95,0	1,1	1,3	11,0	30,0
17	Маршал Жуков	94,1	0,0	0,0	94,1	1,1	1,3	10,5	28,7
18	Аннушка	92,5	0,0	0,0	92,5	1,1	1,3	10,0	30,0
19	Татьяна	88,2	0,0	0,0	88,2	1,0	1,1	16,4	29,0
20	Розовый бочонок	87,4	0,0	0,0	87,4	0,9	1,2	5,2	40,0
21	Лада	85,6	0,0	0,0	85,6	0,9	1,3	11,1	28,5
22	Мраморная	84,0	0,0	0,0	84,0	1,1	1,2	8,0	34,0
	НСР ₀₅	28,7							

Table 3

Qualitative indications of pear seedlings satisfactorily compatible with quince (B group) (2008–2023)

No.	Pear cultivars	Annual increase length, cm	Number of branches, pcs.	Average length of branches, cm	Total length of growth, cm	Diameter of scion, cm	Diameter of rootstock, cm	Number of main roots, pcs.	Length of main roots, cm
1	Kseniya	97.0	11.8	13.0	250.4	1.2	1.3	14.8	43.0
2	Feeriya	115.0	0.6	11.8	122.1	1.3	1.5	9.1	32.0
3	Gera	120.0	0.0	0.0	120.0	1.1	1.2	22.4	35.0
4	Kirgizskaya zimnyaya	83.4	1.8	17.3	114.5	1.0	1.2	10.2	28.2
5	Pamyatnaya	112.6	0.0	0.0	112.6	1.2	1.3	12.8	34.7
6	Talgarskaya krasavitsa	111.0	0.0	0.0	111.0	1.4	1.5	9.2	29.0
7	Chizhovskaya	110.5	0.0	0.0	110.5	1.2	1.5	11.3	31.0
8	Vidnaya	110.0	0.0	0.0	110.0	1.4	1.5	12.3	34.0
9	Esmeral'da	106.1	0.4	7.9	109.3	1.2	1.4	11.5	31.0
10	Ploshchanskaya	107.2	0.0	0.0	107.2	1.2	1.2	4.0	31.0
11	Lira	106.6	0.0	0.0	106.6	1.3	1.4	16.4	33.0
12	Nart	104.4	0.0	0.0	104.4	1.2	1.4	16.0	30.0
13	Prosto Mariya	100.5	0.0	0.0	100.5	1.3	1.5	10.1	37.0
14	Krasavitsa Chernenko	100.0	0.0	0.0	100.0	1.2	1.5	9.6	33.0
15	Velesa	100.0	0.0	0.0	100.0	1.3	1.5	14.6	34.0
16	Kokinskaya	95.0	0.0	0.0	95.0	1.1	1.3	11.0	30.0
17	Marshal Zhukov	94.1	0.0	0.0	94.1	1.1	1.3	10.5	28.7
18	Annushka	92.5	0.0	0.0	92.5	1.1	1.3	10.0	30.0
19	Tatyana	88.2	0.0	0.0	88.2	1.0	1.1	16.4	29.0
20	Rozovyy Bochonok	87.4	0.0	0.0	87.4	0.9	1.2	5.2	40.0
21	Lada	85.6	0.0	0.0	85.6	0.9	1.3	11.1	28.5
22	Mramornaya	84.0	0.0	0.0	84.0	1.1	1.2	8.0	34.0
	LSD ₀₅	28.7							

Таблица 4

Качественные показатели не совместимых с айвой саженцев груши (группа С) (2008–2023 гг.)

Агротехнологии

№	Сорта груши	Длина однолетнего прироста, см	Количество разветвлений, шт.	Средняя длина разветвлений, см	Суммарная длина прироста, см	Диаметр корневой шейки привоя, см	Диаметр корневой шейки подвоя, см	Количество скелетных корней, шт.	Длина скелетных корней, см
1	Орловская летняя	130,0	0,3	5,4	131,6	1,3	1,5	21,9	39,2
2	Орловская красавица	112,2	0,2	3,9	113,0	1,3	1,5	9,9	30,7
3	Скороспелка из Мичуринска	104,7	0,2	3,9	105,5	1,2	1,4	11,6	30,0
4	Завья	93,8	0,0	0,0	93,8	1,1	1,3	10,0	30,0
5	Русановская	88,8	0,0	0,0	88,8	0,8	1,2	9,2	32,0
6	Тихий Дон	83,0	0,0	0,0	83,0	0,9	1,5	5,8	28,0
7	Кармен	49,8	0,0	0,0	49,8	0,6	0,7	11,8	19,0
	НСР ₀₅	35,6							

Table 4

Qualitative indications of pear seedlings incompatible with quince (C group) (2008–2023)

No.	Pear cultivar	Annual increase length, cm	Number of branches, pcs.	Average length of branches, cm	Total length of growth, cm	Diameter of scion, cm	Diameter of rootstock, cm	Number of main roots, pcs.	Length of main roots, cm
1	Orlovskaya letnyaya	130.0	0.3	5.4	131.6	1.3	1.5	21.9	39.2
2	Orlovskaya krasavitsa	112.2	0.2	3.9	113.0	1.3	1.5	9.9	30.7
3	Skorospelka iz Michurinska	104.7	0.2	3.9	105.5	1.2	1.4	11.6	30.0
4	Zaveya	93.8	0.0	0.0	93.8	1.1	1.3	10.0	30.0
5	Rusanovskaya	88.8	0.0	0.0	88.8	0.8	1.2	9.2	32.0
6	Tikhiy Don	83.0	0.0	0.0	83.0	0.9	1.5	5.8	28.0
7	Karmen	49.8	0.0	0.0	49.8	0.6	0.7	11.8	19.0
	LSD ₀₅	35.6							

В группу С вошли 7 сортов, которые показали признаки отрицательного аффинитета с подвоями айвы. Непосредственная прививка на сеянцы айвы обыкновенной делает невозможным их дальнейшее использование. Выделена промежуточная группа (В) из 21 сорта жизнеспособных привойно-подвойных комбинаций с высокими показателями качества срастания, но уступающих по эффективности развития вариантам с грушевыми подвоями. При дальнейшем изучении эти сорта могут проявить признаки отрицательного или положительного аффинитета, которые сейчас являются скрытыми.

В работе О. Н. Борисовой [15] получены положительные результаты по совместимости клоновых подвоев айвы обыкновенной с сортами Есенинская, Белорусская поздняя и Памяти Яковлева. Нашими исследованиями установлено, что в условиях питомника положительный аффинитет с сеянцами айвы обыкновенной и высокое качество саженцев груши показали сорта группы А (таблица 2 и 3). Белорусская поздняя, Есенинская, Августовская роса

и Памяти Яковлева имели наибольший суммарный прирост привоев за счет большего количества и длины боковых побегов. На единичных саженцах в основании нижних боковых побегов отмечено формирование в среднем 1–6 цветковых почек. По своим свойствам сорта скороплодные, но на сеянцах груши не выявлено появление генеративных почек, что подтверждает влияние айвового подвоя на ускорение плодоношения привоев. Тютчевская показала отличное развитие на сеянцах айвы обыкновенной с получением саженцев высокого качества, но примерно в 42–66 % случаев в питомнике фиксировался наплыв в месте срастания и единичные отломы, что может указывать на несовместимость с подвоем. Но предварительные наблюдения показали, что при дальнейшем развитии в течение нескольких лет все негативные признаки исчезают у большинства саженцев. Сорта Муратовская, Брянская красавица и Парижанка показали сходный характер срастания и развития в питомнике. Признаков несовместимости не обнаружено. Не отмечено признаков отри-

цательного аффинитета и у комбинаций с сортами Январская, Ботаническая, Гранд Чемпион и Забава, но качество саженцев у них снижено.

Все сорта группы В на сеянцах айвы уступали интенсивности развития саженцам на грушевом подвое (таблица 3). Сорт Гера на айве развивался интенсивно, но пробуждение почек и начало их роста происходили позднее других сортов, в конце сезона обнаружено небольшое изменение окраски коры однолетнего прироста, качество саженцев уступает вариантам с грушевым подвоем. Срастание прочное. Сорта Мраморная, Ксения, Лада, Памятная, Татьяна, Феерия, Видная, Аннушка и Велеса на сеянцах айвы обыкновенной показали позднее и затяжное развитие, что приводило к снижению качества саженцев.

Сорта группы С проявили все признаки отрицательного аффинитета с айвой обыкновенной уже в начале своего развития (таблица 4). Отмечалось более позднее пробуждения окулянтов и начало поступательного роста привоя в сравнении с грушевым подвоем. Развитие привойно-подвойной комбинации носило затяжной характер, и уже в августе выявлено изменение окраски листьев. У всех сортов был угнетенный вид и имелся наплыв в месте срастания с подвоем, соединение с ним было непрочным. У сортов Скоропелка из Мичуринска, Завая, Русановская, Тихий Дон, Кармен на айвовом подвое листья визуально мельче, чем на грушевом. Орловская летняя имела слабое срастание с подвоем, наплыв, но выделялась интенсивным ростом, что, вероятно, связано с биологическими особенностями сорта. К моменту выкопки саженцев у 20–40 % опытных образцов большинства сортов имелись оголенные верхушки побегов ввиду преждевременного опадения листьев. Предварительные наблюдения показали, что все несовместимые с айвой сорта погибают в течение первых 2–4 лет после посадки.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведенных исследований и наблюдений в условиях питомника был составлен предварительный перечень сортов по характеру срастания с подвоями, выходу и качеству посадочного материала. Все изученные сорта были разделены на три группы совместимости: группа А – совместимые с айвой сорта, показавшие интенсивный рост, полноценное развитие, прочное срастание с подвоем, высокий выход и качество посадочного материала уже в питомнике. Сюда вошли сорта Белорусская поздняя, Тютчевская, Есенинская, Ясачка, Августовская роса, Памяти Яковлева, Муратовская, Конференция, Самарская зимняя, Ника, Самарская красавица, Банкетная, Брянская красавица, Алая, Пасхальная, Январская, Духмяная, Парижанка, Ботаническая, Гранд чемпион и Забава. Группа С – несовместимые с айвой сорта груши в привойно-подвойных комбинациях, с которыми обнаружены практически все признаки отрицательного аффинитета с подвоями. Среди таких сортов Орловская летняя, Орловская красавица, Скоропелка из Мичуринска, Завая, Русановская, Тихий Дон и Кармен. Выращивание их на айве обыкновенной невозможно при непосредственной прививке на подвой. Также выделена промежуточная группа сортов с высокой жизнеспособностью и активным развитием на сеянцах айвы обыкновенной, но уступающим по выходу и качеству посадочного материала сортам, выращенным на сеянцах груши. В эту группу вошли сорта Ксения, Феерия, Гера, Киргизская зимняя, Памятная, Талгарская красавица, Чижовская, Видная, Эсмеральда, Площанская, Лира, Нарт, Просто Мария, Красавица Черненко, Велеса, Кокинская, Маршал Жуков, Аннушка, Татьяна, Розовый бочонок, Лада и Мраморная.

Библиографический список

1. Канаметова А. В., Оршокдугова Э. М. Влияние подвоя на приживаемость привитых глазков, силу роста и выход стандартных саженцев груши // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Нальчик, 2023. С. 102–105.
2. Friend A. P., Diack R. N., van Hooijdonk B. M., Knäbel M., Tustin D. S. and Palmer J. W. Scion architecture on dwarfing candidate pear rootstocks // Acta Horticulturae. 2020. Vol. 1281. Pp. 153–162. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1281.22.
3. Сотник А. И. Особенности корневой системы деревьев груши на разных подвоях в Крыму // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2021. Т. 23, № 3 (117). С. 248–252. DOI: 10.35547/IM.2021.76.66.007.
4. Долматов Е. А., Сидоров А. В., Баранов Р. В. Зимостойкость новых форм айвы обыкновенной в связи с использованием ее в качестве семенного подвоя груши // Проблемы агроэкологии и адаптивности сортов в современном садоводстве России: сборник научных трудов. Орел, 2008. С. 60–64.
5. Борисова О. Н., Долматов Е. А. Морозостойкость корневой системы перспективных клоновых подвоев для груши // Успехи современной науки. 2017. № 7. С. 11–13.
6. Semin I. V. Evaluation of common quince of VNIISPK breeding as pear seedling rootstock for fruit production in Central Russia // E3S Web of Conferences. 2021. Article number 02017. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402017.

7. Семин И. В., Долматов Е. А., Ожерельева З. Е. Перспективы использования подвоя интенсивного типа для возделывания садов груши в условиях центральной России // Овощи России. 2020. № 5. С. 75–80. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-5-75-80.
8. Семин И. В. Признаки несовместимости компонентов прививки в привойно-подвойных комбинациях груши с айвой обыкновенной // Овощи России. 2023. № 5. С. 84–89. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-84-89.
9. Семин И. В. Технологические аспекты выращивания перспективных семенных подвоев для груши на основе айвы обыкновенной селекции ВНИИСПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 5. С. 52–56. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/5/52-56.
10. Öztürk A. The Effects of Different Rootstocks on the Graft Success and Stion Development of Some Pear Cultivars // International Journal of Fruit Science. 2021. Vol. 21, No. 1. Pp. 932–944. DOI: 10.1080/15538362.2021.1948376.
11. Касьянова Г. В., Никольская, О. А., Солонкин А. В. Влияние подвоев для груши на приживаемость сортов местной селекции // Научно-агрономический журнал. 2023. № 2 (121). С. 17–21. DOI: 10.34736/FNC.2023.121.2.003.17-21.
12. Mac an Saoir S., Johnston S., Kearns J. Pear systems trial, Conference on Quince Adams and Quince EMC rootstocks in N. Ireland // Acta Horticulturae. 2022. Vol. 1346. Pp. 347–352. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1346.43.
13. Коровин В. А. Причины несовместимости при прививках плодовых растений. Совместимость привоя и подвоя яблони. Москва: Колос, 1979. 127 с.
14. Седов Е. Н. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
15. Борисова О. Н. Хозяйственно-биологические особенности новых форм айвы обыкновенной селекции ФГБНУ ВНИИСПК в качестве подвоев для груши: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук. Орел, 2019. 22 с.

Об авторе:

Игорь Валерьевич Семин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и сортовой агротехники яблони, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская обл., Россия; ORCID 0000-0003-2836-7309, AuthorID 657523. E-mail: seminigorvniispk.ru@yandex.ru

References

1. Kanametova A. V., Orshokdugova E. M. The influence of rootstock on the survival rate of grafted eyes, growth strength and yield of standard pear seedlings. *Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex in the conditions of climate aridization: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference*. Nalchik, 2023. Pp. 102–105. (In Russ.)
2. Friend A. P., Diack R. N., van Hooijdonk B. M., Knäbel M., Tustin D. S., Palmer J. W. Scion architecture on dwarfing candidate pear rootstocks. *Acta Horticulturae*. 2020; 1281: 153–162. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1281.22.
3. Sotnik A. I. Features of the root system of pear trees on different rootstocks in Crimea. *Magarach. Viticulture and winemaking*. 2021; 23 (3): 248–252. DOI: 10.35547/IM.2021.76.66.007. (In Russ.)
4. Dolmatov E. A., Sidorov A. V., Baranov R. V. Winter hardiness of new forms of quince in connection with its use as a seed rootstock of pear. *Problems of agroecology and adaptability of cultivars in modern horticulture of Russia collection of scientific papers*. Oryol, 2008. Pp. 60–64. (In Russ.)
5. Borisova O. N., Dolmatov E. A. Frost resistance of the root system of promising clonal rootstocks for pears. *Advances of modern science*. 2017; 7: 11–13. (In Russ.)
6. Semin I. V. Evaluation of common quince of VNIISPК breeding as pear seedling rootstock for fruit production in Central Russia. *E3S Web of Conferences*. 2021; 02017. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402017.
7. Semin I. V., Dolmatov, E. A., Ozherelyeva Z. E. Prospects for the use of intensive rootstock for cultivation of pear cultivars in the conditions of Central Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2020; 5: 75–80. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-5-75-80. (In Russ.)
8. Semin I. V. Signs of incompatibility of grafting components in scion-rootstock combinations of pear with common quince. *Vegetable crops of Russia*. 2023; 5: 84–89. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-84-89. (In Russ.)
9. Semin I. V. Technological aspects of growing promising seed rootstocks for pears based on quince of VNIISPК breeding. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2023; 5: 52–56. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/5/52-56. (In Russ.)
10. Öztürk A. The Effects of Different Rootstocks on the Graft Success and Stion Development of Some Pear Cultivars. *International Journal of Fruit Science*. 2021; 21 (1): 932–944. DOI: 10.1080/15538362.2021.1948376.

11. Kasyanova G. V., Nikol'skaya, O. A., Solonkin A. V. The influence of rootstocks for pears on the survival rate of cultivars of local breeding. *Scientific and Agronomic Journal*. 2023; 2 (121): 17–21. DOI: 10.34736/FNC.2023.121.2.003.17-21. (In Russ.)
12. Mac an Saoir S., Johnston S., Kearns J. Pear systems trial, Conference on Quince Adams and Quince EMC rootstocks in N. Ireland. *Acta Horticulturae*. 2022; 1346: 347–352. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1346.43.
13. Korovin V. A. *The causes of incompatibility in grafts of fruit plants. Compatibility of apple scion and rootstock*. Moscow: Kolos, 1979. 127 p. (In Russ.)
14. Sedov E. N. *Program and methodology of fruit, berry and nut variety study*. Oryol: VNIISPK, 1999. 608 p. (In Russ.)
15. Borisova O. N. *Economic and biological features of new forms of quince of VNIISPK breeding as rootstocks for pears*: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences. Oryol, 2019. 22 p. (In Russ.)

Author's information:

Igor V. Semin, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of cultivar study and apple cultivar agrotechnics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0000-0003-2836-7309, AuthorID 657523. *E-mail: seminigorvniispk.ru@yandex.ru*

Использование биопрепаратов на яровом ячмене для ингибирования грибов рода *Fusarium*

М. В. Черемисинов, Г. А. Ренгартен✉

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

✉E-mail: rengarten.g@gmail.com

Аннотация. Цель опыта заключалась в проведении сравнительного анализа антагонистической активности препаратов, полученных на основе микроорганизмов, используемых для инокуляции семян ячменя сорта Родник Прикамья. **Методы.** Оценка зараженности болезнями семян проводилась согласно ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур». **Научная новизна.** Изучена возможность применения микроорганизмов в качестве биофунгицидов на основе *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* (как отдельно, так и совместно с химическими фунгицидами – протравителями семян) для защиты семян ярового ячменя от семенной инфекции, вызываемой грибами рода *Fusarium*. Изучена фунгицидная и росторегулирующая активность грибов *Trichoderma* sp. и *Fischerella muscicola* на семенах ячменя. **Результаты.** Наиболее эффективными при обработке семян были химические препараты на естественном фоне без инфицирования «Флудимакс», «Синклер» и «Селест Топ». Количество пораженных проростков составило 20–30 %. Наименьшее поражение было при обработке семян протравителем «Селест Топ» – 20 %. При заражении семян смесью препаратов *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* распространение фузариума было на уровне 34 %. Во втором блоке исследований с инфицированными семенами зараженность семян в контроле составила 58 %, а после обработки химическими протравителями снизилась до 28–36 %. В варианте, где инфицированные семена инокулировали препаратами «Селест Топ» и «Флудимакс», – 28 % и 36 % соответственно. Незначительно уступил химическим протравителям вариант, на основе *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola*, где зараженность микромицетами составила 30 %. При анализе влияния микробных препаратов на морфометрические показатели было установлено, что длина проростков колебалась от 6,1 до 9,6 см. Стимулирующее действие на проростки оказали химические протравители семян. Так, препараты «Селест Топ», «Флудимакс» стимулировали развитие проростков, длина колебалась от 9,3 до 9,6 см по сравнению с контролем.

Ключевые слова: *Fusarium culmorum*, ячмень Родник Прикамья, *Trichoderma* sp., *Fischerella muscicola*, *Helminthosporium sativum*, биопрепарат, химический протравитель

Для цитирования: Черемисинов М. В., Ренгартен Г. А. Использование биопрепаратов на яровом ячмене для ингибирования грибов рода *Fusarium* // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 628–636. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-628-636>.

Дата поступления статьи: 28.12.2023, **дата рецензирования:** 11.03.2024, **дата принятия:** 21.03.2024.

Use of biological products on spring barley to inhibit *Fusarium* fungi

M. V. Cheremisinov, G. A. Rengarten✉

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

✉E-mail: rengarten.g@gmail.com

Abstract. The purpose of the experiment was to conduct a comparative analysis of the antagonistic activity of drugs obtained from microorganisms used for inoculation of barley seeds of the Rodnik Prikamya variety. **Methods.** The assessment of seed disease contamination was carried out in accordance with GOST 12044-93 “Crop Seeds”. **The scientific novelty.** The possibility of using microorganisms as biofungicides based on *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* (both separately and together with chemical fungicides – seed protectants) to

protect spring barley seeds from seed infection caused by fungi of the genus *Fusarium* has been studied. The fungicidal and growth-regulating activity of the fungi *Trichoderma* sp. and *Fischerella muscicola* on barley seeds was studied. **Results.** The most effective when treating seeds were chemical preparations against a natural background without infection: “Fludimaks”, “Sinkler” and “Selest Top”. The number of affected seedlings was 20–30 %. The least damage occurred when the seeds were treated with the “Selest Top” disinfectant – 20 %. When seeds are infected with a mixture of preparations of *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* and the spread of *Fusarium* was at the level of 34 %. In the second block of studies with infected seeds, the infection of seeds in the control was 58 %, and after treatment with chemical disinfectants it decreased to 28–36 %. In the variant where infected seeds were inoculated with the preparations “Selest Top” and “Fludimaks” – 28 % and 36 %, respectively. The variant based on *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* was slightly inferior to chemical disinfectants, where the contamination with micromycetes was 30 %. When analyzing the effect of microbial preparations on morphometric parameters, it was found that the length of the seedlings ranged from 6.1 to 9.6 cm. Chemical seed protectants had a stimulating effect on the seedlings. Thus, the preparations “Selest Top” and “Fludimaks” stimulated the development of seedlings; the length ranged from 9.3 to 9.6 cm compared to the control.

Keywords: *Fusarium culmorum*, barley Rodnik Prikamya, *Trichoderma* sp., *Fischerella muscicola*, *Helminthosporium sativum*, biological product, chemical disinfectant

For citation: Cheremisinov M. V., Rengarten G. A. Use of biological products on spring barley to inhibit *Fusarium* fungi. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 628–636. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-628-636>. (In Russ.)

Date of paper submission: 28.12.2023, **date of review:** 11.03.2024, **date of acceptance:** 21.03.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время повышается роль использования биологических препаратов по сравнению с химическими. Основное преимущество биологических препаратов – это снижение пестицидной нагрузки на агроценозы и получение продукции более экологически чистой, полезной и ценной для питания, особенно для детского и пожилого возраста. Научкой и практикой убедительно доказана положительная роль биологических препаратов, полученных на основе бактерий, грибов, а также продуктов их жизнедеятельности для сельского хозяйства с целью борьбы и снижения численности вредоносных объектов, снижающих урожайность и качество продукции [1; 2].

Массовая химизация сельского хозяйства отрицательно сказалась как на почвенной биоте, так и на жизнедеятельности полезных насекомых-опылителей. Особенно остро эта проблема возникла при гибели пчел в США, Бразилии, Китае, Италии и некоторых западных странах.

Среди полезных микроорганизмов имеются актиномицеты – это организмы, имеющие прокариотный тип клеточной организации, микростроение грамположительного типа, образующие ветвящийся мицелий диаметром 0,4–1,5 мкм. К классу актиномицетов относят множество бактерий с различным строением клеток. Известно, что грибы, *Oerskovia*, *Cellulomonas* при наличии жидкой среды формируют подвижные палочки. А если среда студенистая на агаре, то формируют разветвленные нити. Подавляющее большинство видов актиномицетов имеют ветвящийся, утонченный мицелий. Актино-

мицеты обладают способностью проникать в зоны с отсутствием питательных веществ, поэтому эти виды микроорганизмов могут встречаться в пресноводных водоемах, в морях, воздухе и почвах [2].

В почве и растительных субстратах актиномицеты представлены достаточно широко (содержание их в почве составляет 25–40 % от числа всех микроорганизмов). Представители многих часто встречаемых видов, родов актиномицетов были выделены из почвенной среды. При распределении по почвенному горизонту подавляющее их число представлено родом *Streptomyces*.

Главная функция актиномицетов – разложение сложных полимеров, таких как лигнин, целлюлоза, гумусовые соединения, а также способность разлагать сельскохозяйственные органические остатки. Актинобактерии способны синтезировать пигменты коричневого цвета (меланины), которые являются хорошими предшественниками гуминовых веществ, играющих заметную роль в создании почвенного плодородия. Прокариотические грибы, формирующие мицелий, принимают участие в выработке физиологически активных веществ, восстанавливают азотное равновесие почвы. Актинобактерии способны к синтезу антибиотиков, а также синтезу экзогидролитических ферментов [3; 4].

Независимо от широкого метаболического потенциала у актинобактерий, а также эффективности распространения их спор и временного отсутствия питательных веществ, количество препаратов на основе актинобактерий для роста растений все еще ограничено.

Среди изученных микробных биоактивных вторичных метаболитов около 9000 вырабатываются актинобактериями, из которых 80 % непосредственно относятся к роду *Streptomyces*. Мицелиальные прокариоты имеют широкое распространение в природе, множественное функциональное разнообразие, высочайшую биосинтетическую активность и простоту обработки. Из 3200 известных продуцентов антибиотиков 2100 – актинобактерии. Многие метаболиты, которые синтезируются актинобактериями, обладают антибиотическими (антимикробными, антивирусными) свойствами [1; 2].

Антибиотики – это специфические продукты жизнедеятельности организмов, обладающие широкой физиологической активностью по отношению к определенным группам микроорганизмов и селективно снижают их рост или в полной мере сдерживают их развитие. Антибиотики оказывают сильное влияние на растения, повышая рост и поддерживая увеличение урожайности. Известно, что «Стрептомицин» – один из первых антибиотиков, применяемый с целью защиты растений, – был получен на основе *Streptomyces griseus*, последний применялся от бактериозов на плодовых и овощных культур в Японии, Англии, Индии, США и других странах. С 1961 года в Японии выращиваются актиномицеты, дающие антибиотик Blastikidin-S [3–5].

Из российских антибиотиков широкое распространение получил «Фитобактериомицин», продуцируемый штаммом *Streptomyces lavendulae* 696. В настоящее время производится биопрепарат «Фитолавин-300» на основе рассмотренного антибиотика.

В России заметно растет интерес к новым штаммам актиномицетов, имеющих патогенный и токсичный характер и к стрептомицетам. Микробиологической промышленностью получена серия микробиологических препаратов: «Боррелидин», «Алейцид», «Летарцид», «Актинин», «Авермектин», «Глоберин», «Хризомал» и ряд других. Считается, что грибы рода стрептомицетов в связи с большой метаболической активностью имеют широкое применение в микробиологии.

Актинобактерии, как и немцелиальные бактерии, имеют силу взаимодействия в организации с другими организмами как в естественных, так и в опытных условиях. Актинобактерии в условиях объединения способны создавать симбиозы, непосредственно меняя свою морфологию и функциональную активность.

Цианобактерии и мицелиальные актинобактерии привлекают внимание исследователей. Альгоцианобактериальные сообщества микроорганизмов обладают большой продуктивностью, в этом звене источником фототрофного агента выступают цианобактерии, способные к синтезу органического вещества. Последнее является источником углеро-

да, а также энергии. В качестве компонентов для формирования экспериментальных цианобактериально-актиномицетных ассоциаций целесообразно использовать культуры, выделенные из природных экосистем, где они могут адаптироваться друг к другу длительное время.

Доказано, что культура *Fisch. muscicola* не оказывает существенного влияния на корневую систему проростков, но было выявлено, что культура стрептомицетов приводит к снижению этого показателя. Инокулирование семян культурами *S. wedmorensis* + *Fisch. muscicola*, наоборот, увеличивает размеры корней [1; 2].

Среди многообразия рода *Fusarium* имеется немало фитопатогенных штаммов, способствующих повреждению растений различных видов и семейств, которое проявляется в виде стеблевых и корневых гнилей [1].

Наибольший вред семенам наносит фузариоз. В результате повреждения семян грибами рода *Fusarium* заметно снижается всхожесть семян, ухудшается кормовое и пищевое достоинство за счет образования в ходе жизнедеятельности гриба микотоксинов, которые могут вызвать серьезные отравления [2–10].

Микробиологические препараты создают на основе отобраных человеком колоний или клеток микроорганизмов с ценными свойствами, микроорганизмы часто выращивают на специальных искусственных жидкостных питательных средах. Концентрация микроорганизмов достаточно высокая: на 1 мл или 1 г препарата приходится до 1–5 млрд клеток [11].

Основу микробиологических препаратов могут составлять прионы, вирусы, бактерии, актиномицеты, цианобактерии, водоросли, грибы, а также продукты метаболизма микроорганизмов.

В настоящее время микробиологическая промышленность получает одно- и многокомпонентные препараты из одного или нескольких штаммов разных микроорганизмов. При выделении новых штаммов в первую очередь выделяют те, которые способны к ассимиляции атмосферного азота, синтезу биологически активных веществ, ингибированию роста фитопатогенов и одновременно оказанию стимулирующего влияния на рост культурного растения. Ценные штаммы микроорганизмов должны легко приспосабливаться к новым, изменившимся условиям обитания, вступать в симбиотические связи с растением-хозяином [12].

В свою очередь, препараты на основе микроорганизмов могут оказывать разнонаправленные воздействия: стимулировать рост надземной части; иметь ризогенный эффект; повышать адаптацию к окружающей среде, в том числе стрессоустойчивость при пересадке, иммунитет к инфекциям; фик-

сировать с помощью микроорганизмов различные вещества; разлагать отходы; увеличивать почвенное плодородие; осуществлять биоремедиацию [11–13].

Серьезными моментами при использовании микроорганизмов также являются их способность к адгезии на поверхности корней, хемотаксис ризобактерий в направлении корневых экссудатов и приемлемая скорость размножения.

В основу биометода положено снижение численности патогенной инфекции за счет деятельности микроорганизмов – антагонистов.

Сейчас широко применяются штаммы полезных микроорганизмов на основе родов *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Agrobacterium*, *Candida*, *Streptomyces*, *Bacillus* и других, способных бороться с фитопатогенной инфекцией [11].

Биопрепараты и их малая концентрация действующего вещества являются экологически безопасными средствами защиты. Помимо этого, препараты способны повышать устойчивость растений к неблагоприятным факторам.

Многолетний опыт использования биопестицидов отечественного и зарубежного производства доказал их защитную роль по отношению к культурным растениям. В настоящее время осуществлено производство импортных и отечественных биопрепаратов:

– виды гриба рода *Bacillus*: «Серенада», «Кодиак» (*Bacillus subtilis*, США), «Ризо-плюс» (*B. subtilis*, Германия), «Бактофит», «Фитоспорин» (*B. subtilis*, Россия),

– виды гриба *Trichoderma*: «Био-фугус» (*Trichoderma* spp., Бельгия), «Бинаб-Т» (*T. harzianum* и *T. polysporum*, Швеция), «Биотрек» (*T. harzianum*, США);

– виды гриба рода *Pseudomonas*: «Планриз» (*Pseudomonas fluorescens*, Беларусь, Россия);

– виды рода *Streptomyces*: «Фитолавин» (*S. griseus*, Россия) [3–10].

Биофунгицид «Фитоспорин-М» (производства НВП «БашИнком») на основе эндофитной бактерии *B. subtilis* 26Д используется против многих грибных и бактериальных болезней, повышает уровень иммунитета растений.

«Планриз» (производства ООО «Биотехагро») – препарат на основе бактерии *P. fluorescens*, как и «Фитоспорин-М», выступает в борьбе с грибными и бактериальными болезнями [11].

«Триходермин» (производства ООО «Биотехагро») – биопрепарат на основе микромицетов рода *T. lignorum*. В качестве активного вещества выступают антибиотики, продуцируемые грибами, которые уничтожают возбудителей болезней (гнили, инфекции, макроспориоз и др.).

Препараты, полученные компанией ООО «Бисолби-Интер», содержат в основе *B. Subtilis*. Среди них:

– «БисолбиСан» – биологический фунгицид. Данный препарат эффективно борется с корневыми гнилями, фузариозом, фитотрофом, гелиминтоспориозом, черной ножкой, церкоспорозом, мучнистой росой, пероноспорозом и рядом других заболеваний;

– «БисолбиИнсект» – биологический инсектицид для регулирования численности насекомых вредителей [11].

Наукой и практикой доказано, что наиболее эффективно использовать полученные современными методами селекции сорта, имеющие иммунитет к патогенам, тем самым снижая пестицидный прессинг на окружающую среду и получая экологически безопасную продукцию [14–17].

Цель работы – изучение антагонистической активности препаратов и микроорганизмов, используемых для инокуляции семян ячменя сорта Родник Прикамья.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объекта исследований использовались семена ячменя сорта Родник Прикамья. Исследования проводились в период с 2020 по 2023 год.

Для инфицирования семян использовали один из самых опасных фитопатогенов *Fusarium culmorum*. Инфицирование зерновок проводили методом опудривания на заранее выращенных газонах в чашках Петри. Титр пропагул микромицета составил $5,8 \cdot 10^6$ кл/мл.

В работе для обработки семян применялись импортные препараты: «Флудимакс», «Селест Топ», «Синклер».

Из источников биоагентов для обработки семян использовали компоненты на основе:

– цианобактерий *Fischerella muscicola* из коллекционного фонда микроорганизмов кафедры биологии растений селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ. Изучение *Fischerella muscicola* показало, что данный вид способен к быстрому наращиванию биомассы, сохраняя долгую активность. Использование цианобактерии *Fischerella muscicola* показало ее положительную антагонистическую активность по отношению к грибам рода *Fusarium*;

– микромицета *Trichoderma* sp. из коллекционного фонда микроорганизмов кафедры биологии растений селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ. Ранее проведенные исследования доказали, что триходерма обладает фитостимулирующими, антибактериальными, противомикотическими свойствами. Перед использованием определяли титр ($2 \cdot 10^7$ кл/мл).

Проращивание проводилось в рулонах фильтровальной бумаги в термостате по общепринятой методике согласно ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур».

Таблица 1
Влияние протравителя на степень поражения проростков ячменя

Варианты опыта	Всхожесть, %	Количество пораженных проростков, %	
		<i>Fusarium</i>	<i>Helminthosporium</i>
1. Контроль (без обработки)	92,0	42,0	12,0
2. Контроль (семена инфицированные <i>Fusarium culmorum</i>)	90,0	58,0	–
3. Синклер	96,0	30,0	4,0
4. Селест Топ	97,0	20,0*	2,0
5. Флудимакс	95,0	28,0	6,0
6. <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	95,0	34,0	6,0
7. <i>Fusarium culmorum</i> + синклер	93,5	34,0	6,0
8. <i>Fusarium culmorum</i> + Селест Топ	94,0	28,0*	2,0
9. <i>Fusarium culmorum</i> + флудимакс	93,0	36,0	10,0
10. <i>Fusarium culmorum</i> + <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	92,0	30,0*	18,0

Примечание. * Уровень вероятности $P > 0,95$.

Table 1
The effect of the mordant on the degree of damage to barley seedlings

Options experience	Germination, %	Number of affected seedlings, %	
		<i>Fusarium</i>	<i>Helminthosporium</i>
1. Control (without treatment)	92.0	42.0	12.0
2. Control (seeds infected with <i>Fusarium culmorum</i>)	90.0	58.0	–
3. Sinkler	96.0	30.0	4.0
4. Selest Top	97.0	20.0*	2.0
5. Fludimaks	95.0	28.0	6.0
6. <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	95.0	34.0	6.0
7. <i>Fusarium culmorum</i> + Sinkler	93.5	34.0	6.0
8. <i>Fusarium culmorum</i> + Selest Top	94.0	28.0*	2.0
9. <i>Fusarium culmorum</i> + Fludimaks	93.0	36.0	10.0
10. <i>Fusarium culmorum</i> + <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	92.0	30.0*	18.0

Note. * Probability level $P > 0.95$.

Обработка семян препаратами велась в течение суток в суспензии препаратов и микроорганизмов согласно вариантам опыта:

1. Контроль (без обработки).
2. Контроль (семена, инфицированные *Fusarium culmorum*).
3. Синклер.
4. Селест Топ.
5. Флудимакс.
6. *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola*.
7. *Fusarium culmorum* + Синклер.
8. *Fusarium culmorum* + Селест Топ.
9. *Fusarium culmorum* + Флудимакс.
10. *Fusarium culmorum* + *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola*.

Семена помещали в рулоны из фильтровальной бумаги в четырехкратной повторности. Учеты и наблюдения проводились на 8 сутки после закладки.

Результаты (Results)

Анализ данных показал, что семена в контроле были в сильной степени заражены микромицетами – 42 % без искусственного инфицирования и 58 % при инфицировании (таблица 1).

В варианте с инфицированными семенами лабораторная всхожесть была наименьшая – 90 %. При обработке препаратами лабораторная всхожесть колебалась от 92 до 97 %. Наибольшая всхожесть 97 % отмечалась при обработке семян препаратом «Селест Топ» с тремя действующими веществами, наименьшая 92 % – в варианте, где инфицированные семена инокулировали суспензией на основе *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola*.

Наиболее эффективными при обработке семян были химические препараты на естественном фоне без инфицирования «Флудимакс», «Синклер» и «Селест Топ». Количество пораженных проростков составило 20–30 %.

Таблица 2
Рострегулирующее действие препаратов на семена ячменя

Варианты	Длина проростков		Длина корней	
	см	% к контролю	см	% к контролю
1. Контроль (без обработки)	6,9	100	10,9	100
2. Контроль (семена инфицированные <i>Fusarium culmorum</i>)	6,1	100	10,4	100
3. Синклер	8,2	119	11,7	107
4. Селест Топ	9,6*	139	13,2*	121
5. Флудимакс	9,3*	134	12,5	114
6. <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	7,2	99	12,6	115
7. <i>Fusarium culmorum</i> + Синклер	9,3*	152	14,8*	142
8. <i>Fusarium culmorum</i> + Селест Топ	8,4*	137	14,3*	137
9. <i>Fusarium culmorum</i> + Флудимакс	8,3	136	13,3	128
10. <i>Fusarium culmorum</i> + <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	9,0*	147	11,5	110

Примечание. * Уровень вероятности $P > 0,95$.

Table 2
Growth-regulating effect of drugs on barley seeds

Options experience	The length of the seedlings		The length of the roots	
	cm	% to control	cm	% to control
1. Control (without treatment)	6.9	100	10.9	100
2. Control (seeds infected with <i>Fusarium culmorum</i>)	6.1	100	10.4	100
3. Sinkler	8.2	119	11.7	107
4. Selest Top	9.6*	139	13.2*	121
5. Fludimaks	9.3*	134	12.5	114
6. <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	7.2	99	12.6	115
7. <i>Fusarium culmorum</i> + Sinkler	9.3*	152	14.8*	142
8. <i>Fusarium culmorum</i> + Selest Top	8.4*	137	14.3*	137
9. <i>Fusarium culmorum</i> + Fludimaks	8.3	136	13.3	128
10. <i>Fusarium culmorum</i> + <i>Trichoderma</i> sp. + <i>Fischerella muscicola</i>	9.0*	147	11.5	110

Note. * Probability level $P > 0.95$.

Наименьшее поражение было при обработке семян протравителем «Селест Топ» – 20 %. При заражении семян смесью препаратов *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* распространение фузариума было на уровне 34 %.

Во втором блоке исследований с инфицированными семенами зараженность семян в контроле составила 58 %, а после обработки химическими протравителями снизилась до 28–36 %. В варианте, где инфицированные семена инокулировали препаратами «Селест Топ» и «Флудимакс», – 28 % и 36 % соответственно. Незначительно уступил химическим протравителям вариант, где инфицированные семена инокулировали ассоциацией на основе *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola*, где зараженность микромицетами составила 30 %. Параллельно проводили исследование зерновок и проростков на наличие распространения возбудителя *Helminthosporium sativum*.

Так, в первом блоке опытов зараженность проростков микромицетом рода *Helminthosporium sativum* колебалась от 2 до 6 %. Минимальное рас-

пространение *Helminthosporium sativum* было зафиксировано в варианте с препаратом «Селест Топ» – 2 %, тогда как в контроле (обработка водой) зараженность была на уровне 12 %.

Незначительно уступил вариант с обработкой семян биопрепаратом *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* – микотическое инфицирование составило 6 %. На фоне искусственного заражения развитие гриба *Helminthosporium sativum* увеличилось. В то же время низкое заражение при обработке семян наблюдалось в варианте с обработкой препаратом «Селест Топ» (2 %). Максимальная – в варианте с инфицированными семенами + *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* – 18 %.

При анализе влияния микробных препаратов на морфометрические показатели было установлено, что длина проростков колебалась от 6,1 до 9,6 см. Стимулирующее действие на проростки оказали и химические протравители семян. Так, препараты «Селест Топ», «Флудимакс» стимулировали развитие проростков, длина колебалась от 9,3 до 9,6 см по сравнению с контролем. В блоке опытов с инфи-

цированными семенами высота проростков в вариантах с химическими протравителями снизилась на 0,7–1,0 см (таблица 2).

Обработка инфицированных семян *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* стимулировала развитие проростков, их высота превышала этот показатель в контроле на 47 %.

Ризогенный эффект проявился в блоке вариантов без инфицирования семян. Так, длина корней у растений этих вариантов увеличилась до 20 % по сравнению с контролем.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Минимальное распространение *Helminthosporium sativum* было зафиксировано в варианте с препаратом «Селест Топ» – 2 %, тогда как в контроле зараженность составила 12 %. Незначительно уступил вариант с обработкой семян биопрепаратом

Trichoderma sp. + *Fischerella muscicola* – микотическое инфицирование составило 6 %. Минимальная распространенность после инфицирования составила 2 % при обработке семян препаратом «Селест Топ», максимальная – в варианте с инфицированными семенами *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* (18 %).

Ростостимулирующее действие на проростки оказали химические протравители семян. Так, препараты «Селест Топ» и «Флудимакс» стимулировали развитие проростков, длина колебалась от 9,3 до 9,6 см по сравнению с контролем.

Обработка семян биопрепаратами на основе грибов *Trichoderma* sp. + *Fischerella muscicola* стимулировала развитие проростков, их высота превышала этот показатель по сравнению с контролем в 1,5 раза.

Библиографический список

1. Афанасенко О. С. Генетическая защита зерновых культур: итоги и перспективы // Защита и карантин растений. 2020. № 9. С. 3–7.
2. Черемисинов М. В., Емелев С. А. Влияние регуляторов роста и протравителей семян на площадь листьев ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы VI Международной научно-практической конференции (к 125-летию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). Киров, 2020. С. 244–246.
3. Naik M. K., Telangre R., Sharma M. Distribution and pathogenic diversity in *Fusarium udum* butler isolates: the causal agent of pigeonpea *Fusarium* wilt // BMC Plant Biology. 2022. Vol. 22, No. 1. DOI: 10.1186/s12870-022-03526-8.
4. Costa M. M., Melo M. P., Guimarães E. A., Pfenning L. H., Saleh A. A., Esele J. P., Zeller K. A., Leslie J. F., Summerell B. A. *Fusarium mirum* sp. Nov, intertwining *Fusarium madaense* and *Fusarium andiyazi*, pathogens of tropical grasses // Fungal Biology. 2022. Vol. 126, Iss. 3. Pp. 250–266. DOI: 10.1016/j.funbio.2021.12.002.
5. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gomzhina M. M., Gavrilova O. P. *Fusarium bilaiae*, a new cryptic species in the *Fusarium fujikuroi* complex associated with sunflower // Mycologia. 2023. Vol. 115, No. 6. Pp. 787–801. DOI: 10.1080/00275514.2023.2259277.
6. Haidoulis J. F., Nicholson P. Different effects of phytohormones on *Fusarium* head blight and *Fusarium* root rot resistance in brachypodium distachyon // Journal of Plant Interactions. 2020. Vol. 15, No. 1. Pp. 335–344. DOI: 10.1080/17429145.2020.1820592.
7. Park Ch., Kim H., Lee D. W., Kim J., Choi Y. Identification of antifungal constituents of essential oils extracted from *boesenbergia pulcherrima* against *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum*) // Applied Biological Chemistry. 2020. Vol. 63. No. 1. DOI: 10.1186/s13765-020-00518-w.
8. Podgórska-Kryszczuk I., Solarska E., Kordowska-Wiater M. Biological control of *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* by antagonistic yeasts // Pathogens. 2022. Vol. 11, No. 1. Article number 86. DOI: 10.3390/pathogens11010086.
9. Wang Sh., Bhattacharjee P., Gagkaeva T. Yu., Moe T., Wang Ya., Ruan Sh., Guo L. First report of *Fusarium sibiricum* causing *Fusarium* head blight of wheat in China // Plant Disease. 2023. Vol. 107. Article number 1622. DOI: 10.1094/PDIS-07-22-1620-PDN.
10. Xu M., Wang Q., Wang G., Zhang X., Liu H., Jiang C. Combatting *Fusarium* head blight: advances in molecular interactions between *Fusarium graminearum* and wheat // Phytopathology Research. 2022. Vol. 4, No. 1. DOI: 10.1186/s42483-022-00142-0.
11. Шулупова О. В. Влияние защитных и стимулирующих препаратов на степень поражения семян сортов ярового ячменя фитопатогенами // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (61). С. 60–64.
12. Постовалов А. А., Суханова С. Ф., Курская Ю. А. Выявление факторов, определяющих микробиологическую активность биоценоза // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 1. С. 286–302. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-286-302.

13. Лукьянова О. В., Ступин А. С., Антошина О. А., Вавилова Н. В. Фитопатологическая экспертиза семян яровых зерновых культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14, № 3. С. 29–38. DOI: 10.36508/RSATU.2022.32.77.005.

14. Ренгартен Г. А., Емелев С. А., Савиных Е. Ю., Черемисинов М. В. Использование лазерного мутагенеза в селекции растений в России и за рубежом // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 5. С. 55–61.

15. Ренгартен Г. А., Емелев С. А., Савиных Е. Ю., Черемисинов М. В. Итоги селекционной работы по зерновым культурам в вятском государственном агротехнологическом университете // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 5. С. 81–85.

16. Ренгартен Г. А. Использование химического мутагенеза в селекции растений в России и за рубежом // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 42–46.

17. Ренгартен Г. А., Емелев С. А., Черемисинов М. В. Использование индуцированного мутагенеза с целью создания исходного материала ячменя в Вятской сельскохозяйственной академии // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 3 (5). С. 4–8.

Об авторах:

Михаил Витальевич Черемисинов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия; ORCID 0000-0002-4970-8961, AuthorID 817597.

E-mail: cheremisinov.mv@yandex.ru

Григорий Анатольевич Ренгартен, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия; ORCID 0000-0001-7773-967X, AuthorID 818833.

E-mail: rengarten.g@gmail.com

References

1. Afanasenko O. S. Genetic protection of grain crops: results and prospects. *Plant protection and quarantine*. 2020; 9: 3–7. (In Russ.)

2. Cheremisinov M. V., Emelev S. A. Influence of growth regulators and seed protectants on the area of barley leaves. *Methods and technologies in plant breeding and crop production: materials of the VI International Scientific and Practical Conference (on the 125th anniversary of the N. V. Rudnitsky Federal Agrarian Scientific Center of the North-East)*. Kirov, 2020. Pp. 244–246. (In Russ.)

3. Naik M. K., Telangre R., Sharma M. Distribution and pathogenic diversity in *Fusarium udum* butler isolates: the causal agent of pigeonpea *Fusarium* wilt. *BMC Plant Biology*. 2022; 22 (1). DOI: 10.1186/s12870-022-03526-8.

4. Costa M. M., Melo M. P., Guimarães E. A., Pfenning L. H., Saleh A. A., Esele J. P., Zeller K. A., Leslie J. F., Summerell B. A. *Fusarium mirum* sp. Nov, intertwining *Fusarium madaense* and *Fusarium andiyazi*, pathogens of tropical grasses. *Fungal Biology*. 2022; 126 (3): 250–266. DOI: 10.1016/j.funbio.2021.12.002.

5. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gomzhina M. M., Gavrilova O. P. *Fusarium bilaiae*, a new cryptic species in the *Fusarium fujikuroi* complex associated with sunflower. *Mycologia*. 2023; 115 (6): 787–801. DOI: 10.1080/00275514.2023.2259277.

6. Haidoulis J. F., Nicholson P. Different effects of phytohormones on *Fusarium* head blight and *Fusarium* root rot resistance in brachypodium distachyon. *Journal of Plant Interactions*. 2020; 15 (1): 335–344. DOI: 10.1080/17429145.2020.1820592.

7. Park Ch., Kim H., Lee D. W., Kim J., Choi Y. Identification of antifungal constituents of essential oils extracted from boesenbergia pulcherrima against *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum*). *Applied Biological Chemistry*. 2020; 63 (1). DOI: 10.1186/s13765-020-00518-w.

8. Podgórska-Kryszczuk I., Solarska E., Kordowska-Wiater M. Biological control of *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* by antagonistic yeasts. *Pathogens*. 2022; 11 (1): 86. DOI: 10.3390/pathogens11010086.

9. Wang Sh., Bhattacharjee P., Gagkaeva T. Yu., Moe T., Wang Ya., Ruan Sh., Guo L. First report of *Fusarium sibiricum* causing *Fusarium* head blight of wheat in China. *Plant Disease*. 2023; 107: 1622. DOI: 10.1094/PDIS-07-22-1620-PDN.

10. Xu M., Wang Q., Wang G., Zhang X., Liu H., Jiang C. Combatting *Fusarium* head blight: advances in molecular interactions between *Fusarium graminearum* and wheat. *Phytopathology Research*. 2022; 4 (1). DOI: 10.1186/s42483-022-00142-0.

11. Shulepova O. V. Influence of protective and stimulating compounds on the degree of damage to seeds of spring barley varieties by phytopathogens. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2020; 2 (61): 60–64. (In Russ.)

12. Postovalov A. A., Sukhanova S. F., Kurskaya Yu. A. Identification of factors determining microbiological activity of biocenosis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022; 14 (1): 286–302. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-1-286-302. (In Russ.)
13. Lukyanova O. V., Stupin A. S., Antoshina O. A., Vavilova N. V. Phytopathological examination of spring grain seeds. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2022; 14 (3): 29–38. DOI: 10.36508/RSATU.2022.32.77.005. (In Russ.)
14. Rengarten G. A., Emelev S. A., Savinykh E. Yu., Cheremisinov M. V. The use of laser mutagenesis in plant breeding in Russia and abroad. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 5: 55–61. (In Russ.)
15. Rengarten G. A., Emelev S. A., Savinykh E. Yu., Cheremisinov M. V. Results of selection work on grain crops at Vyatka State Agrotechnological University. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 5: 81–85. (In Russ.)
16. Rengarten G. A. The use of chemical mutagenesis in plant breeding in Russia and abroad. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 4: 42–46. (In Russ.)
17. Rengarten G. A., Emelev S. A., Cheremisinov M. V. The use of induced mutagenesis in order to create the feedstocks of barley in the Vyatka Agricultural Academy. *Bulletin of the Vyatka State Agricultural Academy*. 2020; 3 (5): 4–8. (In Russ.)

Authors' information:

Mikhail V. Cheremisinov, candidate of agricultural sciences, associate professor, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia; ORCID 0000-0002-4970-8961, AuthorID 817597.

E-mail: cheremisinov.mv@yandex.ru

Grigoriy A. Rengarten, candidate of agricultural sciences, associate professor, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia; ORCID 0000-0001-7773-967X, AuthorID 818833. *E-mail: rengarten.g@gmail.com*

Изучение влияния уровня экспрессии генов аквапоринов на качество семени быков голштинской породы

О. Ю. Баркова[✉], Д. А. Старикова, И. В. Чистякова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия

[✉]E-mail: barkoffws@list.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка влияния генов-кандидатов, кодирующих аквапорины (*AQP*): *AQP3*, *AQP7* и *AQP11*, ассоциированных с показателями качества спермы быков, для дальнейшего использования их как транскрипционных биомаркеров. **Методы.** При помощи количественной полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (RT-qPCR) оценили экспрессию выбранных генов нативных и замороженно-оттаянных сперматозоидов 7 быков голштинской породы и провели анализ корреляционных связей между уровнем экспрессии изучаемых генов со значимыми для выживаемости и оплодотворения показателями качества спермы. Оценены такие биохимические показатели нативных и деконсервированных сперматозоидов быков, как подвижность, морфология клеток, целостность мембран, жизнеспособность, мембранный потенциал митохондрий, уровень генерации активных форм кислорода (АФК). **Научная новизна** исследования заключается в том, что впервые в нашей стране оценена связь уровня экспрессии генов *AQP3*, *AQP7* и *AQP11* с показателями качества спермы быков голштинской породы. **Результаты.** Ген *AQP11* может быть рекомендован как надежный транскрипционный биомаркер, поскольку имел высокую положительную корреляционную связь с содержанием живых ($0,821, p = 0,0145$), нормальных ($0,750, p = 0,0384$) клеток и отрицательную корреляцию с содержанием дефективных ($-0,679, p = 0,0735$), мертвых клеток ($-0,821, p = 0,0145$) и содержанием АФК ($-0,821, p = 0,0145$) в замороженно-оттаянной и нативной сперме. Транскрипт гена *AQP7* замороженно-оттаянной спермы имел среднюю отрицательную корреляцию с показателями содержания мертвых сперматозоидов ($-0,727, p = 0,0545$) и дефектов акросомы ($-0,667, p = 0,0735$) на близком к достоверному уровню. Транскрипт гена *AQP3* имел достоверную положительную корреляцию с содержанием мертвых клеток ($0,786, p = 0,0251$) замороженно-оттаянной спермы и отрицательную корреляцию с содержанием дефективных, мертвых клеток и содержанием АФК в замороженно-оттаянной и нативной сперме.

Ключевые слова: сперматозоиды, быки, оплодотворяющая способность, качество семени, криоконсервация, среды, РНК, транскрипты, биомаркеры криорезистентности, митохондрии, аквапорины

Благодарности. Исследование выполнено в рамках работ по гранту Российского научного фонда № 22-76-10041.

Для цитирования: Баркова О. Ю., Старикова Д. А., Чистякова И. В. Изучение влияния уровня экспрессии генов аквапоринов на качество семени быков голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 637–648. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-637-648>.

Дата поступления статьи: 22.08.2023, **дата рецензирования:** 15.04.2024, **дата принятия:** 27.04.2024.

Study of the expression level influence of aquaporin genes on the quality of semen of Holstein bulls

O. Yu. Barkova[✉], D. A. Starikova, I. V. Chistyakova

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – a Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Saint Petersburg, Russia

[✉]E-mail: barkoffws@list.ru

Abstract. The aim of the study is to assess the influence of candidate genes encoding aquaporins (*AQPs*): *AQP3*, *AQP7* and *AQP11*, associated with indicators of bull semen quality, for their further use as transcriptional biomarkers. **Methods.** Using quantitative reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR), we assessed the expression of selected genes in native and frozen-thawed sperm of 7 Holstein bulls and analyzed the correlations between the expression level of the studied genes with indicators of sperm quality that are significant for survival and fertilization. The following biochemical parameters of native and deconserved bull spermatozoa were assessed: motility, cell morphology, membrane integrity, viability, mitochondrial membrane potential, level of generation of reactive oxygen species (ROS). **The scientific novelty of the study** lies in the fact that for the first time in our country the relationship between the expression level of the *AQP3*, *AQP7* and *AQP11* genes and the quality of sperm of Holstein bulls was assessed. **Results.** The *AQP11* gene can be recommended as a reliable transcriptional biomarker, since it had a high positive correlation with the content of living ($0.821, p = 0.0145$), normal ($0.750, p = 0.0384$) cells, and a negative correlation with the content of defective ($-0.679, p = 0.0735$), dead cells ($-0.821, p = 0.0145$) and ROS content ($-0.821, p = 0.0145$) in frozen-thawed and native sperm. The *AQP7* gene transcript of frozen-thawed sperm had an average negative correlation with indicators of dead sperm content ($-0.727, p = 0.0545$) and acrosome defects ($-0.667, p = 0.0735$) at a level close to significant. The *AQP3* gene transcript had a significant positive correlation with the content of dead cells ($0.786, p = 0.0251$) in frozen-thawed sperm and a negative correlation with the content of defective, dead cells and ROS content in frozen-thawed and native sperm.

Keywords: spermatozoa, bulls, fertility, semen quality, cryopreservation, media, RNA, transcripts, cryoresistance biomarkers, mitochondria, aquaporins

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-76-10041.

For citation: Barkova O. Yu., Starikova D. A., Chistyakova I. V. Study of the expression level influence of aquaporin genes on the quality of semen of Holstein bulls. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024; 24 (05): 637–648. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-637-648>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.08.2023, **date of review:** 15.04.2024, **date of acceptance:** 27.04.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

На сегодняшний день проблема сохранности сперматозоидов при проведении процедур криоконсервации стоит достаточно остро. Быки, хряки и бараны входят в число криочувствительных видов, для которых заморозка и оттаивание несут значительные риски повреждения ДНК мужских гамет, снижения оплодотворяющей способности, и последующего замирания развития эмбрионов, полученных с использованием криоконсервированного семени [1; 2]. В последние годы омиксные технологии нашли свое применение во многих областях исследований – как фундаментальных, так и прикладных. Вспомогательные репродуктивные технологии не стали исключением: во всем мире постоянно пополняются базы данных о роли тех или иных генов, транскриптов и белков в обеспечении

криорезистентности и фертильности половых клеток. Анализ профилей транскриптов сперматозоидов и ассоциация уровня экспрессии определенных РНК с различной криорезистентностью спермы – относительно новый подход в данной сфере исследований во всем мире [2–4]. Проведено множество исследований, направленных на оптимизацию методологии долгосрочного хранения спермы, а также на поиск биомаркеров качества семени сельскохозяйственных животных и человека, в том числе обнаружены гены и белки, отвечающие за криорезистентность. Кроме того, некоторые транскрипты сперматозоидов могут транслироваться в митохондрии во время капацитации [3], и исследования показали, что различия в экспрессии транскриптов сперматозоидов могут использоваться в качестве маркеров функций сперматозоидов, включая под-

вижность, капациацию и конденсацию хроматина [3; 4]. Благодаря достижениям в области биоинформатики стало возможным выделять высококачественную РНК из мужских гамет и разрабатывать новые неинвазивные подходы для оценки криотолерантности, а также биомаркеры качества семени у животных и человека. Этот новый подход основан на анализе данных секвенирования РНК сперматозоидов (RNAseq) путем сравнения профиля мРНК после криоконсервации семени для идентификации маркерных генов, вовлеченных в механизм криотравмы. У сперматозоидов хряка, быка, жеребца и человека были обнаружены различия в профайлах матричных и микроРНК до и после криоконсервации [5–8]. Также у хряка и большой панды выявлены гены, преимущественно активирующиеся в гаметах особей с низкой криорезистентностью [9; 10]. Однако, несмотря на обнаружение корреляции некоторых транскриптов спермы с устойчивостью к заморозке-оттаиванию, причины такой связи зачастую не установлены. Также в связи с межвидовой и даже внутривидовой изменчивостью РНК-профиля подобные исследования необходимо проводить отдельно на определенных породах и популяциях. У мужских гамет различных видов животных выявлены гены и транскрипты, ответственные за устойчивость к криотравме [11], однако транскрипционные маркеры сперматозоидов быков до конца не изучены, а в нашей стране подобные исследования и вовсе ранее не проводились. Получение данных об особенностях РНК-профилей у быков с высокой и низкой криорезистентностью семени позволит в дальнейшем разрабатывать новые неинвазивные подходы для оценки устойчивости к криоконсервации, а ассоциация обнаруженных биомаркеров с определенными изменениями внутри клетки станет фундаментальной основой для совершенствования методологии и преодоления последствий криоконсервации. Целью данной работы является проведение корреляционного анализа уровня экспрессии генов аквапоринов с показателями качества спермы.

В качестве исследуемых генов нами были отобраны гены, кодирующие аквапорины (AQP): *AQP3*, *AQP7* и *AQP11*. Аквапорины (AQP) представляют собой семейство небольших интегральных белков плазматической мембраны, которые главным образом транспортируют воду в клетки. AQP делятся на три подсемейства в зависимости от их функциональности. К первой группе (ортодоксальные AQP) относятся *AQP0*, *AQP1*, *AQP2*, *AQP4*, *AQP5*, *AQP6* и *AQP8*, которые избирательно транспортируют молекулы воды. Второе подсемейство, также известное как акваглицеропорины, поскольку они способны транспортировать воду, глицерин и другие мелкие растворенные вещества, включают *AQP3*, *AQP7*, *AQP9* и *AQP10*. *AQP11* и *AQP12* принадлежат к третьей группе, также известной как

супераквапорины, представляющие собой водные каналы с более низкой гомологией в сравнении с другими AQP [12]. Функции супераквапоринов менее изучены, чем функции двух других групп AQP. Аквапорин 3 (*AQP3*) и аквапорин 7 (*AQP7*) обладают свойствами защиты от осмотических изменений путем эффективного контроля проникновения воды и глицерина в оболочку сперматозоида, также участвуют в его подвижности [13; 14]. Супераквапорин 11 облегчает движение воды, но его проницаемость для других растворенных веществ остается спорной [15]. *AQP7* и *AQP11* в сперматозоидах хряка были идентифицированы методом вестерн-блоттинга, и дальнейшее их изучение показало, что повышенное содержание *AQP11* имеет значительную корреляцию ($P < 0,05$) с целостностью мембраны сперматозоидов, текучестью и подвижностью сперматозоидов, но не коррелирует с качеством спермы в случае *AQP7*. Однако *AQP3* участвует в осмоадаптации спермы, что имеет решающее значение после естественного снижения осмотического давления, с которым сталкиваются мужские гаметы при попадании в женский репродуктивный тракт [16]. Рядом авторов изучены локализация и экспрессия генов *AQP3*, *AQP7* и *AQP11* в сперматозоидах быков и показано, что данные гены участвуют в криотолерантности сперматозоидов быков и оплодотворяющей способности [13; 14; 17].

Поскольку глицерин является наиболее распространенным проницаемым криопротекторным агентом в разбавителях для замораживания спермы быков, а проницаемость плазматической мембраны для воды и глицерина определяет устойчивость клеток к криоконсервации, участие акваглицеропоринов 3, 7 и 11 в криотолерантности сперматозоидов быков заслуживает дальнейшего изучения.

Методология и методы исследования (Methods)

Для исследования было выбрано 7 быков от 1 года до 3 лет на АО «Невское». Всего было исследовано 14 проб эякулята, из них 7 проб нативной спермы и 7 проб криоконсервированной спермы (3 пайеты). Пробы свежего эякулята отбирали в утренние часы во время плановых заборов, проводимых в АО «Невское». Объем каждой пробы нативной спермы составлял 1000–1500 мкл, концентрация варьировалась от 0,7 до 1,65 млрд клеток/мл. Процедура криоконсервации спермы, проводимая на АО «Невское», заключалась в следующем: смешанный с разбавителем OptiXcell (IMV technologies, Франция) в соотношении 1 : 1 эякулят быков (27 °C) охлаждали до 18–22 °C, после чего проводили итоговое разбавление, фасовку и эквilibрацию (экспозиция при 4 °C в течение 3–4 часов). Замораживание сперматозоидов производили в условиях –145 °C в течение 7,5 минуты и хранили при –196 °C в жидком азоте (IMV Technologies, Франция). Концентрация клеток в пайете достигала $4...9 \times 10^6$ клеток/мл.

Подвижность и концентрация половых клеток свежего эякулята была оценена на АО «Невское» с использованием камеры Маклера (Sefi Medical Instrument, Италия). Для работы со сперматозоидами заранее готовили среду HBSS (Hank's Balanced Salt Solution) следующего состава на 100 мл: NaCl – 800 мг, KCl – 40 мг, MgSO₄-ангидрат – 4,96 мг, KH₂PO₄ – 6 мг, D-Glucose – 100 мг, NaHCO₃ – 36 мг, Na₂HPO₄-ангидрат – 4,8 мг, CaCl₂ × 2H₂O – 18,56 мг, MgCl₂ · 6H₂O – 10 мг. Перед проведением экспериментов свежий эякулят разбавляли в среде HBSS, доводя до объема 500 мкл, так чтобы итоговая концентрация клеток не превышала $4 \dots 2 \times 10^6$ клеток/мл. Концентрацию клеток проверяли на фотометре SDM 1 (Minitube, Германия). Затем клетки дважды отмывали с помощью центрифугирования при 1500 об/мин в течение 10 минут и 37 °С, супернатант удаляли. Осадок ресуспендировали в среде HBSS. Сперматозоиды после оттаивания также отмывали центрифугированием и ресуспендировали в 1,5 мл среды HBSS. После этого полученные образцы использовали для выделения РНК, оценки морфологии клеток, анализа биохимических показателей мужских гамет.

До выделения РНК проводилась очистка образцов спермы от соматических и мертвых клеток путем градиентного центрифугирования с помощью раствора «Фиколл» [18].

Анализ морфологии сперматозоидов проводили под иммерсией на световом микроскопе Olympus Vanox-t (Япония), объектив 100х, после окрашивания мазка эякулята с помощью тест-набора «Дифф – Квик» (АБРИС+ НПФ, Россия) согласно рекомендациям производителя. На каждом суховоздушном препарате наблюдали по 200 сперматозоидов.

Анализ целостности мембран, жизнеспособности, мембранного потенциала митохондрий и уровня генерации активных форм кислорода производили с помощью проточного цитометра CytoFLEX, BeckmanCoulter (США). Скорость сбора данных проточной цитометрии была установлена на низкую скорость и максимальное разрешение. В среднем около 5000 одноклеточных событий было получено из каждого образца спермы быка. Полученные данные анализировали с помощью программы CytExpert 2.4.

Для оценки мембранного потенциала митохондрий клетки сперматозоидов окрашивали флуоресцентным липофильным карбоцианиновым красителем JC-1. В 500 мкл образца вносили 2 мкл 2 мкМ JC-1. Инкубировали образцы в темноте при 37 °С в течение 30 минут. Далее добавляли 1000 мкл среды, ресуспендировали, центрифугировали при 2000 об/мин в течение 10 минут, осадок разбавляли в 500 мкл среды HBSS до измерения на проточном цитометре. JC-1 возбуждали лазером с длиной волны 488 нм. JC-1 при высоких ΔΨm об-

разует J-агрегаты, излучающие оранжево-красную флуоресценцию с максимумом при 595 нм (сигнал эмиссии регистрируется при 610/630 нм). При низких ΔΨm JC-1 остается в мономерной форме, испуская зеленую флуоресценцию с максимумом при 530 нм (сигнал эмиссии регистрируется при 532/555 нм). Конечная ΔΨm клетки является соотношением красной и зеленой флуоресценции (числовое значение для анализа).

Оценка жизнеспособности и целостности клеточных мембран нативных и деконсервированных сперматозоидов проводилась с помощью окрашивания интеркалирующими красителями: пропидия йодидом, контрастным красителем для ядер и хромосом, окрашивающим мертвые клетки, и SYBR Green I, специфичным к двухцепочечной ДНК. К 500 мкл спермы добавляли 0,3 мкл 1 мкМ SYBR Green I. Инкубировали образцы в темноте при 37 °С в течение 10 минут. Затем добавляли 2 мкл 2,4 мкМ пропидия йодида и инкубировали клетки далее еще 5 минут при тех же условиях. SYBR Green I связывается с ДНК, полученный комплекс поглощает голубой свет ($\lambda_{\text{max}} = 497$ нм) и испускает зеленый ($\lambda_{\text{max}} = 520$ нм). Длина волны возбуждения флуоресценции пропидия йодида составляет 535 нм. Пропидия йодид испускает красную флуоресценцию с максимумом при 617 нм.

Оценка уровня генерации активных форм кислорода в нативных и деконсервированных сперматозоидах проводилась путем окраски спермы красителем H2DCFDA (2',7'-дихлородигидрофлуоресцеин диацетат). В 300 мкл образца вносили 10 мкл 2 мкМ H2DCFDA. Клетки инкубировали 25 минут при 37 °С в темноте. Затем оценивали флуоресценцию в зеленой области спектра (максимум поглощения при 511 нм, максимум флуоресценции при 533 нм).

Выделение РНК из нативной и деконсервированной спермы предварительно отмытой средой HBSS и реагентом «Фиколл» проводили с помощью набора для выделения ExtractRNA (Евроген, Россия), тщательно следуя указаниям производителя. Полученные образцы РНК обрабатывали термолabileй ДНКазой EM 100 (Биолабмикс) в соответствии с рекомендацией производителя. Концентрация РНК, измеренная с помощью спектрофотометра NanoDrop ND-1000, определялась в диапазоне от 500 до 1000 нг/мл.

Дизайн олигонуклеотидов-праймеров для анализа экспрессии последовательности генов-кандидатов, влияющих на качество спермы, проводили на основании информации баз данных сети Интернет (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov> и www.ensembl.org) при помощи компьютерной программы PRIMER_3 (www.genome.wi.mit.edu).

Таблица 1

Последовательность олигонуклеотидов-праймеров генов-кандидатов, ассоциированных с качеством спермы

Название гена	Последовательность прямого праймера и температура отжига, °C	Последовательность обратного праймера и температура отжига, °C	Размер продукта, пар нуклеотидов
<i>SLC2A5 (GLUT5)</i> (референсный)	TGACCTACCACCAACCCTGA 60.10	CATGCCTGTGGCTACCAGAA 60.04	194
<i>GAPDH</i> (референсный)	CCGCAAGGAGAACTCAAGGT 59.96	CGGCCCAAGCAAAAATTGGA 59.97	163
<i>AQP3</i>	CTGACCACATCTCTCTGCC 59.82	GCCGATCATGAGCTGGTACA 59.90	112
<i>AQP7</i>	AGGCAACTGGGAGCATAAGG 59.74	GTTCTTCCCCAGCCACTC 60.00	153
<i>AQP11</i>	TTCTGTCATGCTGAGAACAGATTT 59.23	AGGAATCACAGTACTAG-TAGCAAGC 60.16	135

Table 1
Sequence of primer oligonucleotides of candidate genes associated with sperm quality

Gene	Forward primer sequence and annealing temperature, °C	Reverse primer sequence and annealing temperature, °C	Product size, base pairs
<i>SLC2A5 (GLUT5)</i> (reference)	TGACCTACCACCAACCCTGA 60.10	CATGCCTGTGGCTACCAGAA 60.04	194
<i>GAPDH</i> (reference)	CCGCAAGGAGAACTCAAGGT 59.96	CGGCCCAAGCAAAAATTGGA 59.97	163
<i>AQP3</i>	CTGACCACATCTCTCTGCC 59.82	GCCGATCATGAGCTGGTACA 59.90	112
<i>AQP7</i>	AGGCAACTGGGAGCATAAGG 59.74	GTTCTTCCCCAGCCACTC 60.00	153
<i>AQP11</i>	TTCTGTCATGCTGAGAACAGATTT 59.23	AGGAATCACAGTACTAG-TAGCAAGC 60.16	135

Синтез односторонней кДНК проводили при помощи обратной транскриптазы Mint (Евроген) следуя указаниям производителя. Реакцию проводили в объеме 20 мкл. В пробирку добавляли следующие компоненты: 1–2 мкг тотальной РНК; по 2 мкл специфического праймера (10 мкМ); 10 мкл воды для ПЦР. Смесь прогревали 2 минуты при 70 °C и переносили образцы в лед. После чего добавляли 8 мкл предварительно подготовленной смеси: 4 мкл 5x MINT буфера, 2 мкл смеси dNTPs, 2 мкл DTT (20 мМ). В перемешанную смесь добавляли 2 мкл MINT-ревертазы, и инкубировали 2 часа при 42 °C.

Анализ экспрессии РНК, полученных из нативной и замороженно-оттаянной спермы быков, проводили с помощью олигонуклеотидов-праймеров (таблица 2). Полученную смесь односторонней кДНК использовали для амплификации с использованием 5x реакционной смеси qPCRMix-HS SYBR (Евроген), предназначенной для ПЦР в реальном времени с интеркалирующим красителем SYBR Green I в соответствии с рекомендациями производителя. Компоненты реакции смешали в следующей последовательности: стерильная вода до 25 мкл; qPCRMix-HS SYBR 5 мкл 1X, ПЦР праймер по 0,4 мкМ, ДНК-матрица (1 мкл на реакцию). Реакции проводили на амплификаторе в реальном времени CFX96 Touch (Bio-Rad, США) в следующем режиме: амплифика-

ция кДНК и детекция сигнала (40 циклов): 95 °C – 5 минут; 95 °C – 15 секунд; 59 °C – 15 секунд; 72 °C – 20 секунд (этап сбора данных). Реакции ПЦР в реальном времени для каждого образца проводили в трех повторностях. Для последующих расчетов использовали среднее арифметическое значение. Расчет изменений экспрессии отдельных молекул микроРНК выполняли методом 2dCt (delta Cycle threshold) [19].

Статистическую значимость разницы исследуемых параметров между группами оценивали с помощью методов непараметрического анализа путем вычисления критерия χ^2 , *t*-критерия Стьюдента и однофакторного анализа ANOVA по методам Краскала – Уоллиса и Холма – Шидака. Анализ ранговой корреляции был проведен при помощи критерия Спирмена. Анализ данных по биохимическим показателям, показателям качества спермы и ПЦР осуществляли с помощью программ Excel 10.0, SigmaPlot 14.

Результаты (Results)

В качестве исследуемых генов нами были отобраны гены, кодирующие аквапорины (AQP): AQP3, AQP7 и AQP11. В качестве референсных генов (домашнего хозяйства) были отобраны *SLC2A5 (GLUT5)* и *GAPDH* (таблица 1)

Таблица 2

Показатели концентрации и подвижности нативной и замороженно-оттаянной спермы

Биология и биотехнологии

Номер быка	Концентрация сперматозоидов		Подвижность сперматозоидов		Норма для нативной спермы по ГОСТ 23745-2014		Норма подвижности для замороженной спермы по ГОСТ 26030-2015, %, не менее
	Нативная, млрд клеток/см ³	Замороженно-оттаянная, млн клеток/см ³	Нативная сперма (камера Маклера), %	Замороженно-оттаянная камера Маклера, %	Концентрация, млрд/см ³	Подвижность, %, не менее	
1	1,0	5	80	80	0,8	70	40
2	1,5	9	80	75	0,8	70	40
3	1,19	4	70	70	0,8	70	40
4	1,65	5*	75*	70*	0,8	70	40
5	0,8	8	75	65	0,8	70	40
6	1,5	5	80	80	0,8	70	40
7	0,8	5,7	70	70	0,8	70	40

Примечание. * $p \leq 0,01$.

Table 2

Indicators of concentration and motility of native and frozen-thawed sperm

Bull number	Spermatozoa concentration		Sperm motility		The norm for native sperm according to GOST 23745-2014		Motility rate for frozen sperm according to GOST 26030-2015, %, not less than
	Native, billion cells/cm ³	Frozen-thawed, million cells/cm ³	Native sperm (Makler's chamber), %	Frozen-thawed (Makler's chamber), %	Concentration, billion/cm ³	Motility, %, not less	
1	1.0	5	80	80	0,8	70	40
2	1.5	9	80	75	0,8	70	40
3	1.19	4	70	70	0,8	70	40
4	1.65	5*	75*	70*	0,8	70	40
5	0.8	8	75	65	0,8	70	40
6	1.5	5	80	80	0,8	70	40
7	0.8	5.7	70	70	0,8	70	40

Note. * $p \leq 0.01$.

Половые клетки нативной и деконсервированной спермы были оценены по следующим показателям:

- 1) подвижность;
- 2) морфологические дефекты: акросомы, головы, шеи, хвоста, наличие сперматозоидов с петлевыми хвостами, с цитоплазматической каплей;
- 3) целостность мембран;
- 4) жизнеспособность;
- 5) мембранный потенциал митохондрий;
- 6) уровень содержания активных форм кислорода.

В таблице 2 представлены средние показатели общей подвижности сперматозоидов нативной и деконсервированной спермы. Показатели подвижности гамет нативной спермы равны или превышают (от 70 % до 80 %) норму по ГОСТ 23745-2014, замороженно-оттаянных сперматозоидов (от 65 % до 80 %) соответствуют таковым для гамет замороженной спермы в соответствии с ГОСТ 26030-

2015 – не менее 40 %. Важно отметить, что после криоконсервации изменилось качество спермы в сторону ее ухудшения (снижение уровня клеток с нормальной морфологией).

При сравнительной оценке количества сперматозоидов с нормальной морфологией в нативной и деконсервированной сперме быков выявлено, что имеется тенденция к уменьшению доли сперматозоидов с нормальной морфологией после криоконсервации. Отмечено, что доля деконсервированных морфологически нормальных мужских гамет достоверно ниже доли аналогичных нативных сперматозоидов у быков № 4, № 5 и № 6. Однако у быка № 2 обнаружен противоположный эффект, представленный достоверным увеличением доли нормальных гамет после криоконсервации в сравнении с нативными клетками (таблица 3).

Был проведен статистический анализ различий показателей жизнеспособности половых клеток по трем окраскам JC-1, H2DCFDA, SYBR Green I/про-

пидия йодид в нативной и декриоконсервированной сперме. Статистически достоверные различия были получены по показателю содержания живых и мертвых клеток, окрашенных SYBR Green I/пропидия йодид (таблица 4).

Метод ПЦР в реальном времени позволил наблюдать процесс накопления кДНК в процессе реакции. Чем больше количество кДНК в образце,

тем раньше наблюдается начало роста сигнала флуоресценции и тем меньше пороговый цикл. В нашем случае выход на пороговый цикл исследуемых генов начинался с 20 цикла амплификации и заканчивался до 35 цикла. Первыми на «плато» выходил ген AQP11, последним – AQP3 декриоконсервированной спермы (рис. 1).

Таблица 3
Дефективные формы сперматозоидов в нативной и криоконсервированной сперме быков
(n = 200 клеток)

№ быка	Состояние	Дефекты сперматозоидов, M ± SEM						Количество нормальных клеток, X ± m
		Акросома	Головка	Шейка	Хвост	Хвост петлеvidный	Капля	
1	Натив	6,5 ± 2,1	3,5 ± 1,5	5 ± 2	11,5 ± 5,5	0,0 ^c	0,0	173,5 ± 10,5
	Крио	3,5 ± 1,5	3 ± 2	1,5 ± 1,50	11,0 ± 1,0	10 ± 1,0 ^d	0,5 ± 0,50	179 ± 1,5
2	Натив	15,5 ± 0,5	11,5 ± 2,5	2,5 ± 0,50,0	15,0 ± 5,0	0,0	2,5 ± 2,50,0	153,5 ± 4,5 ^e
	Крио	3,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5	4,5 ± 0,5	1,5 ± 0,5	1,0	185,5 ± 0,5 ^f
3	Натив	0,0	0,0	0,5 ± 0,50	1,5 ± 0,5	2,0 ± 1,0	0,0	195,0 ± 1,0
	Крио	3,6 ± 1,4	13,4 ± 5,2	10 ± 2,7	15,4 ± 6,7	8,0 ± 2,8	0,4 ± 0,24	149,6 ± 20,3
4	Натив	0,5 ± 0,5	2,5 ± 1,5	6 ± 1	1,5 ± 0,5	1,5 ± 1,5	0,5 ± 0,50	187,5 ± 0,5 ^g
	Крио	0,8 ± 0,6	11,6 ± 2,9	2,4 ± 0,9	14,4 ± 3,7	6,8 ± 2,2	0,6 ± 0,40,0	163,6 ± 6,3
5	Натив	0,5 ± 0,5	5,0 ± 2,0	1,0	7 ± 2,0	5,0 ± 1,0	0,0	181,5 ± 5,5
	Крио	2,4 ± 0,9	26,0 ± 11,5	7,6 ± 3,4	15,8 ± 2,3	7,2 ± 1,5	0,2 ± 0,20,0	137,8 ± 13,6
6	Натив	0,5 ± 0,5	5,0 ± 3,0	8 ± 1,0	3,5 ± 0,5 ^a	1,0 ± 1,0	0,0	182,0 ± 4,0 ^h
	Крио	3,2 ± 3,2	26,2 ± 6,9	7,6 ± 2,1	24,6 ± 3,1 ^b	2,6 ± 1,1	0,0	135,8 ± 5,4 ⁱ
7	Натив	1,0	11,5 ± 6,5	1,5 ± 0,5	3,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5	0,0	180,0 ± 6,0
	Крио	2,6 ± 1,6	4,6 ± 1,7	2,8 ± 1,7	8,4 ± 1,8	4,0 ± 2,2	0,6 ± 0,4	177,0 ± 5,4

Примечание. Натив – нативные сперматозоиды, крио – заморожено-оттаянные сперматозоиды. Достоверные различия по критерию Стьюдента: ^{a,b,ef,gh,i}P < 0,01, ^{cd}P < 0,001.

Table 3
Spermatozoa defective forms of in native and cryopreserved bull semen (n = 200 cells)

No. of bull	Sperm condition	Sperm defects, M ± SEM						Number of normal cells, X ± m
		Acrosome	Sperm head	Sperm neck	Sperm tail	Looped tail	Drop	
1	Native	6.5 ± 2.1	3.5 ± 1.5	5.0 ± 2.0	11.5 ± 5.5	0.0 ^c	0.0	173.5 ± 10.5
	Cryo	3.5 ± 1.5	3.0 ± 2.0	1.5 ± 1.5	11.0 ± 1.0	10.0 ± 1.0 ^d	0.5 ± 0.5	179 ± 1.5
2	Native	15.5 ± 0.5	11.5 ± 2.5	2.5 ± 0.5	15.0 ± 5.0	0.0	2.5 ± 2.5	153.5 ± 4.5 ^e
	Cryo	3.5 ± 0.5	2.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	4.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	1.0	185.5 ± 0.5 ^f
3	Native	0.0	0.0	0.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	2.0 ± 1.0	0.0	195 ± 1
	Cryo	3.6 ± 1.4	13.4 ± 5.2	10 ± 2.7	15.4 ± 6.7	8.0 ± 2.8	0.4 ± 0.2	149.6 ± 20.3
4	Native	0.5 ± 0.5	2.5 ± 1.5	6.0 ± 1.0	1.5 ± 0.5	1.5 ± 1.5	0.5 ± 0.5	187.5 ± 0.5 ^g
	Cryo	0.8 ± 0.6	11.6 ± 2.9	2.4 ± 0.9	14.4 ± 3.7	6.8 ± 2.2	0.6 ± 0.4	163.6 ± 6.3
5	Native	0.5 ± 0.5	5.0 ± 2.0	1.0	7.0 ± 2.0	5.0 ± 1.0	0.0	181.5 ± 5.5
	Cryo	2.4 ± 0.9	26.0 ± 11.5	7.6 ± 3.4	15.8 ± 2.3	7.2 ± 1.5	0.2 ± 0.2	137.8 ± 13.6
6	Native	0.5 ± 0.5	5.0 ± 3.0	8.0 ± 1.0	3.5 ± 0.5 ^a	1.0 ± 1.0	0.0	182.0 ± 4.0 ^h
	Cryo	3.2 ± 3.2	26.2 ± 6.9	7.6 ± 2.1	24.6 ± 3.1 ^b	2.6 ± 1.1	0.0	135.8 ± 5.4 ⁱ
7	Native	1.0	11.5 ± 6.5	1.5 ± 0.5	3.5 ± 0.5	2.5 ± 0.5	0.0	180.0 ± 6.0
	Cryo	2.6 ± 1.6	4.6 ± 1.7	2.8 ± 1.7	8.4 ± 1.8	4.0 ± 2.2	0.6 ± 0.4	177.0 ± 5.45

Note. Native – native spermatozoa, cryo – frozen-thawed spermatozoa. Significant differences by Student's t-test: ^{a,b,ef,gh,i}P < 0.01; ^{cd}P < 0.001.

Таблица 4

Статистическое различие показателей сперматозоидов в нативной и криоконсервированной сперме

Биология и биотехнологии

Краситель	Показатель	N	Среднее значение ± ошибка среднего	Стандартное отклонение	P	
JC-1	Низкая степень поляризации митохондриальных мембран	Натив	7	4396,57 ± 945,65	2501,97	0,293
		Крио	7	3017,00 ± 825,42	2183,85	
	Средняя степень поляризации митохондриальных мембран	Натив	7	1722,27 ± 613,72	1623,76	0,725
		Крио	7	2086,42 ± 804,89	2129,54	
	Высокая степень поляризации митохондриальных мембран	Натив	7	1057,14 ± 652,23	1725,65	0,449
		Крио	7	1818,42 ± 722,86	1912,53	
H2DCFDA	Содержание АФК FITC	Натив	6	1514,17 ± 3613,34	8850,83	0,161
		Крио	7	8611,00 ± 890,03	2354,79	
SYBR	Содержание живых клеток	Натив	7	3714,85 ± 934,30	2471,92	0,004
		Крио	7	7960,14 ± 708,64	1874,87	
	Содержание мертвых клеток	Натив	7	3323,42 ± 741,08	1960,71	0,043
		Крио	7	5614,86 ± 688,58	1821,81	

Примечание. Жирным шрифтом отмечено достоверно значимое различие показателей сперматозоидов в нативной и криоконсервированной сперме быков.

Table 4

Statistical difference between sperm counts in native and cryopreserved semen

Dye	Index	N	Mean value ± mean error	Standard deviation	P	
JC-1	Low degree of mitochondrial membranes polarization	Native	7	4396.57 ± 945.65	2501.97	0.293
		Cryo	7	3017.00 ± 825.42	2183.85	
	Average degree of mitochondrial membranes polarization	Native	7	1722.286 ± 613.72	1623.76	0.725
		Cryo	7	2086.42 ± 804.89	2129.54	
	High degree of mitochondrial membranes polarization	Native	7	1057.14 ± 652.23	1725.65	0.449
		Cryo	7	1818.42 ± 722.86	1912.53	
H2DCFDA	AFO content	Native	6	15140.167 ± 3613.34	8850.83	0.161
		Cryo	7	8611.0 ± 890.03	2354.79	
SYBR	Living cells content	Native	7	3714.85 ± 934.30	2471.92	0.004
		Cryo	7	7960.143 ± 708.64	1874.87	
	Dead cells content	Native	7	3323.42 ± 741.08	1960.71	0.043
		Cryo	7	5614.857 ± 688.58	1821.81	

Note. Significant difference in sperm parameters in native and cryopreserved bull sperm are indicated in bold.

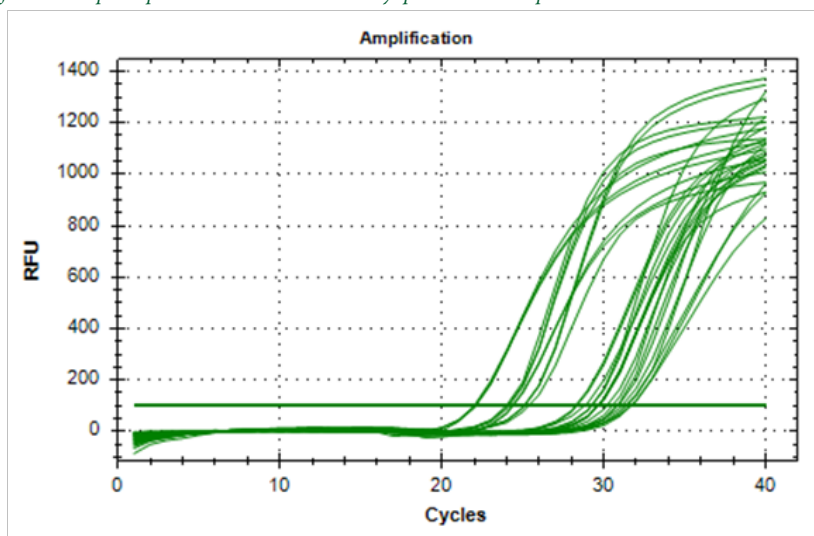


Рис. 1. График накопления ПЦР продукта по исследуемым генам у быка № 1
Fig. 1. PCR product accumulation graph of the studied genes in bull No. 1

Анализ корреляционных связей уровня относительной экспрессии исследуемых генов с некоторыми показателями качества спермы быков

Показатель сперматозоидов	Состояние спермы	AQP3		AQP 7		AQP 11	
		R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value
Подвижность	Натив	-0,037	0,905	0,0772	0,843	-0,0772	0,843
	Крио	-0,579	0,150	-0,109	0,781	-0,579	0,150
Дефективные клетки	Натив	0,571	0,150	0,035	0,905	-0,071	0,843
	Крио	0,371	0,497	0,143	0,720	-0,679	0,0735
Нормальные клетки	Натив	-0,571	0,150	-0,035	0,905	0,0714	0,843
	Крио	-0,371	0,497	0,371	0,497	0,750	0,0384
Дефекты акросомы	Натив	0,519	0,181	0,148	0,720	0,000	0,968
	Крио	0,0857	0,919	-0,667	0,0735	-0,811	0,0145
Мертвые клетки SYBR/PI	Натив	-0,179	0,660	0,464	0,255	-0,821	0,0145
	Крио	0,786	0,0251	-0,727	0,0545	-0,818	0,0145
Живые клетки SYBR/PI	Натив	0,179	0,660	-0,464	0,255	0,821	0,0145
	Крио	0,200	0,602	-0,543	0,297	0,309	0,438
Средняя степень поляризации митохондриальных мембран n (%) (JC-1)	Натив	-0,143	0,720	0,000	0,968	0,0714	0,843
	Крио	0,107	0,781	0,107	0,781	0,321	0,438
Содержание АФК (интенсивность свечения) – mean FITC (DFC)*	Натив	-0,657	0,175	-0,257	0,658	0,257	0,658
	Крио	0,393	0,341	-0,393	0,341	-0,821	0,0145

Примечание. Жирным шрифтом отмечены достоверные уровни корреляции с показателями спермы быков.

Table 5
Analysis of correlations between the level of relative expression of the studied genes and some indicators of bull sperm quality

Index spermatozoa	Sperm condition	AQP3		AQP 7		AQP 11	
		R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value
Mobility	Native	-0.037	0.905	0.0772	0.843	-0.0772	0.843
	Cryo	-0.579	0.150	-0.109	0.781	-0.579	0.150
Defective cell	Native	0.571	0.150	0.035	0.905	-0.071	0.843
	Cryo	0.371	0.497	0.143	0.720	-0.679	0.0735
Normal cells	Native	-0.571	0.150	-0.035	0.905	0.0714	0.843
	Cryo	-0.371	0.497	0.371	0.497	0.750	0.0384
Acrosome defects	Native	0.519	0.181	0.148	0.720	0.000	0.968
	Cryo	0.0857	0.919	-0.667	0.0735	-0.811	0.0145
Dead cells SYBR/PI	Native	-0.179	0.660	0.464	0.255	-0.821	0.0145
	Cryo	0.786	0.0251	-0.727	0.0545	-0.818	0.0145
Live cells SYBR/PI	Native	0.179	0.660	-0.464	0.255	0.821	0.0145
	Cryo	0.200	0.602	-0.543	0.297	0.309	0.438
Average degree of polarization of mitochondrial membranes n (%) (JC-1)	Native	-0.143	0.720	0.000	0.968	0.0714	0.843
	Cryo	0.107	0.781	0.107	0.781	0.321	0.438
AFO content (glow intensity) – mean FITC (DFC)*	Native	-0.657	0.175	-0.257	0.658	0.257	0.658
	Cryo	0.393	0.341	-0.393	0.341	-0.821	0.0145

Note. Significant levels of correlation with bull sperm parameters are indicated in bold.

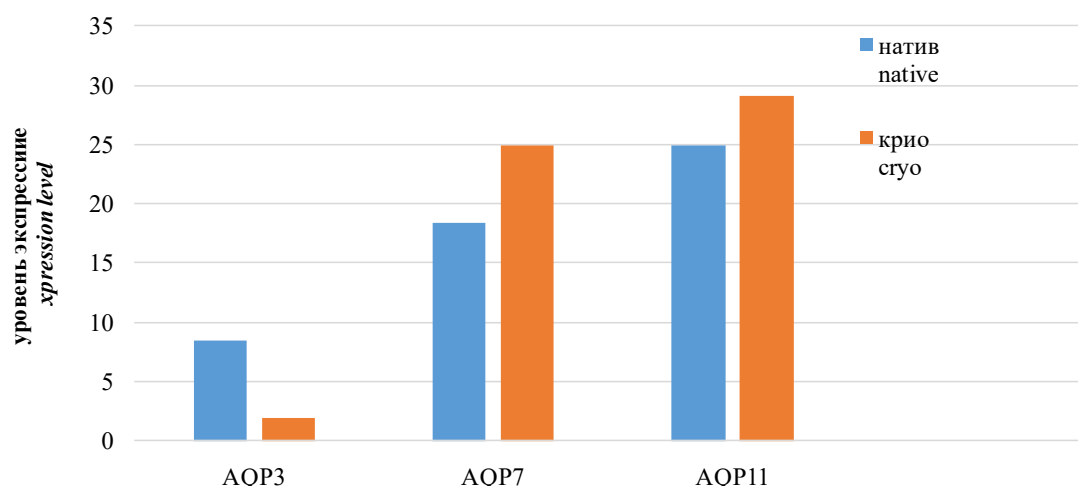


Рис. 2. Различия уровней экспрессии генов – кандидатов нативных и декриоконсервированных сперматозоидов
Fig. 2. Differences in expression levels of candidate genes in native and decryocconserved spermatozoa

Результаты исследования показали, что экспрессия вышеуказанных генов была преимущественно выше в замороженно-оттаянной сперме. Статистически достоверных различий уровней экспрессии изучаемых генов в нативной и декриоконсервированной сперме не наблюдалось: *AQP11* ($p = 0,07$); *AQP3* ($p = 0,08$); *AQP7* ($p = 0,1$) (рис. 2).

Анализ корреляционных связей выявил некоторые зависимости между уровнем экспрессии молекул и значимыми показателями качества спермы у исследуемых генов. Среди трех генов, кодирующих аквапорины, наибольшую корреляционную связь по большинству показателей качества сперматозоидов проявил ген *AQP11*. Он имел высокую положительную корреляцию с содержанием живых, нормальных клеток и отрицательную корреляцию с содержанием дефективных, мертвых клеток и содержанием АФК в замороженно-оттаянной и нативной сперме. Ген *AQP7* замороженно-оттаянной спермы имел среднюю отрицательную корреляцию с показателями содержания мертвых сперматозоидов и дефектов акросомы на уровне близком к достоверному. Ген *AQP3* имел достоверную положительную корреляцию с содержанием мертвых клеток замороженно-оттаянной спермы (таблица 5).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученные нами данные позволяют сделать предположение, что наиболее перспективным для использования в качестве транскрипционного маркера является ген *AQP11*, поскольку он имел положительную корреляционную связь с несколькими показателями, характеризующими жизнеспособность сперматозоидов, и в то же время *AQP11* обла-

дал отрицательной корреляцией с показателями, характеризующими низкое качество сперматозоидов.

Отчасти наши данные подтверждаются исследованием, проведенным на быках [17], где относительное количество *AQP11* было значительно ($P < 0,05$) выше как в нативных, так и замороженно-оттаянных сперматозоидах из бычьих эякулятов с высокой устойчивостью к криоконсервации по сравнению со сперматозоидами с более низкой криорезистентностью, а также предыдущими исследованиями, где выявлена достоверная связь между относительным уровнем *AQP3* и *AQP11* и криотолерантностью сперматозоидов в сперме жеребца [20] и хряка [16].

Гены *AQP3* и *AQP7* требуют дополнительных исследований с увеличением выборки быков, поскольку транскрипты этих генов имели меньше корреляционных связей с показателями качества сперматозоидов и транскрипт гена *AQP3* имел положительную связь с содержанием мертвых клеток, несмотря на то что *AQP7* и *AQP11* имели противоположный результат в данной работе, а предыдущие исследования зарубежных авторов указывают, что основная роль *AQP3*, *AQP7* и *AQP11* связана с жизнеспособностью, осмоадаптацией и активацией подвижности сперматозоидов после эякуляции [13; 16; 21].

Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей работы по созданию транскрипционных биомаркеров, позволяющих отбирать семя от быков-производителей с более высоким оплодотворяющим и криорезистентным потенциалом.

Библиографический список (References)

1. Grötter L. G., Cattaneo L., Marini P. E., Kjelland M. E., Ferré L. B. Recent advances in bovine sperm cryopreservation techniques with a focus on sperm post-thaw quality optimization. *Reproduction in Domestic Animals*. 2019; 54 (4): 30681204. DOI: 10.1111/rda.13409.

2. Khan M. Z., Sathanawongs A., Zhang Y. Impact of cryopreservation on spermatozoa freeze-thawed traits and relevance OMICS to assess sperm cryo-tolerance in farm animals. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 33718466. DOI: 10.3389/fvets.2021.609180.
3. Aliakbari F., Eshghifar N., Mirfakhraie R., Pourghorban P., Azizi F. Coding and non-coding RNAs, as male fertility and infertility biomarkers. *International Journal of Fertility & Sterility*. 2021; 15 (3): 34155862. DOI: 10.22074/IJFS.2021.134602.
4. Selvaraju S., Ramya L., Parthipan S., Swathi D., Binsila B.K. Deciphering the complexity of sperm transcriptome reveals genes governing functional membrane and acrosome integrities potentially influence fertility. *Cell and Tissue Research*. 2021; 385 (1): 33783607. DOI: 10.1007/s00441-021-03443-6.
5. Qin Z., Wang W., Ali M. A., Wang Y., Zhang Y. Transcriptome-wide m6A profiling reveals mRNA post-transcriptional modification of boar sperm during cryopreservation. *BMC Genomics*. 2021; 22 (1): 34344298. DOI: 10.1186/s12864-021-07904-8.
6. Shangguan A., Zhou H., Sun W., Ding R., Li X. Cryopreservation Induces Alterations of miRNA and mRNA Fragment Profiles of Bull Sperm. *Frontiers in Genetics*. 2020; 11: 32431726. DOI: 10.3389/fgene.2020.00419.
7. Kadivar A., Shams Esfandabadi N., Dehghani Nazhvani E., Shirazi A., Ahmadi E. Effects of cryopreservation on stallion sperm protamine messenger RNAs. *Reproduction in Domestic Animals*. 2020; 55 (3): 31885108. DOI: 10.1111/rda.13615.
8. Faraji S., Rashki Ghaleno L., Sharafi M., Hezavechi M., Totonchi M., et al. Gene Expression Alteration of Sperm-Associated Antigens in Human Cryopreserved Sperm. *Biopreservation and Biobanking*. 2021; 19 (6): 34009011. DOI: 10.1089/bio.2020.0165.
9. Ran M. X., Zhou Y. M., Liang K., Wang W. C., Zhang Y. Comparative analysis of microRNA and mRNA profiles of sperm with different freeze tolerance capacities in boar (*Sus scrofa*) and giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *Biomolecules*. 2019; 9 (9): 31480517. DOI: 10.3390/biom9090432.
10. Fraser L., Brym P., Pareek C.S., Mogielnicka-Brzozowska M., Paukszto Ł. et al. Transcriptome analysis of boar spermatozoa with different freezability using RNA-Seq. *Theriogenology*. 2020; 142: 31711689. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.11.001.
11. Peris-Frau P., Soler A. J., Iniesta-Cuerda M., et al. Sperm Cryodamage in Ruminants: Understanding the Molecular Changes Induced by the Cryopreservation Process to Optimize Sperm Quality. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21 (8): 32316334. DOI: 10.3390/ijms21082781.
12. Kordowitzki P., Kranc W., Bryl R., Kempisty B., Skowronska A., Skowronski M. T. The relevance of Aquaporins for the physiology, pathology, and aging of the female reproductive system in mammals. *Cells*. 2020; 9 (12): 33271827. DOI: 10.3390/cells9122570.
13. Fujii T., Hirayama H., Fukuda S., Kageyama S., Naito A., Yoshino H., Moriyasu S., Yamazaki T., Sakamoto K., Hayakawa H. Expression and localization of aquaporins 3 and 7 in bull spermatozoa and their relevance to sperm motility after cryopreservation. *Journal of Reproduction and Development*. 2018; 64: 29798965. DOI: 10.1262/jrd.2017-166.
14. Prieto-Martínez N., Morató R., Muiño R., Hidalgo C. O., Rodríguez-Gil J. E., Bonet S., Yeste M. Aquaglyceroporins 3 and 7 in bull spermatozoa: Identification, localisation and their relationship with sperm cryotolerance. *Reproduction, Fertility and Development*. 2017; 29: 27221122. DOI: 10.1071/RD16077.
15. Calamita G., Delporte C. Involvement of aquaglyceroporins in energy metabolism in health and disease. *Biochimie*. 2021; 188: 33689852. DOI: 10.1016/j.biochi.2021.03.001.
16. Prieto-Martínez N., Vilagran I., Morató R., Rivera Del Álamo M. M., Rodríguez-Gil J. E., Bonet S., Yeste M. Relationship of aquaporins 3 (AQP3), 7 (AQP7), and 11 (AQP11) with boar sperm resilience to withstand freeze-thawing procedures. *Andrology*. 2017; 5 (6): 28941027. DOI: 10.1111/andr.12410.
17. Morató R., Prieto-Martínez N., Muiño R., Hidalgo C. O., Rodríguez-Gil J. E., Bonet S., Yeste M. Aquaporin 11 is related to cryotolerance and fertilising ability of frozen-thawed bull spermatozoa. *Reproduction, Fertility and Development*. 2018; 30: 29365310. DOI: 10.1071/RD17340.
18. Highland H. N., Rishika A. S., Almira S. S., Kanthi P. B. Ficoll-400 density gradient method as an effective sperm preparation technique for assisted reproductive techniques. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2016; 9 (3): 27803588. DOI: 10.4103/0974-1208.192070.
19. Harshitha R., Arunraj D. R. Real-time quantitative PCR: A tool for absolute and relative quantification. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2021; 49 (5): 34132460. DOI: 10.1002/bmb.21552.
20. Bonilla-Correal S., Noto F., Garcia-Bonavila E., Rodríguez-Gil J. E., Yeste M., Miro J. First evidence for the presence of aquaporins in stallion sperm. *Reproduction in Domestic Animals*. 2017; 4: 29052325. DOI: 10.1111/rda.13059.

21. Delgado-Bermúdez A., Recuero S., Llavanera M., Mateo-Otero Y., Sandu A., Barranco I., Ribas-Maynou J., Yeste M. Aquaporins are essential to maintain motility and membrane lipid architecture during mammalian sperm capacitation. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9: 34540822. DOI: 10.3389/fcell.2021.656438.

Об авторах:

Ольга Юрьевна Баркова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-0963-905X, AuthorID 733323. *E-mail: barkoffws@list.ru*

Дарья Андреевна Старикова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-5324-4090, AuthorID 693374. *E-mail: live8avis@mail.ru*

Ирэна Валерьевна Чистякова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения животных – филиал Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-7229-5766, AuthorID 921353. *E-mail: itjeren7@gmail.com*

Authors' information:

Olga Yu. Barkova, candidate of biological sciences, senior researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding, Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-0963-905X, AuthorID 733323. *E-mail: barkoffws@list.ru*

Darya A. Starikova, candidate of biological sciences, researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding, Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-5324-4090, AuthorID 693374. *E-mail: live8avis@mail.ru*

Irena V. Chistyakova, candidate of biological sciences, researcher, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding, Branch of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-7229-5766, AuthorID 921353. *E-mail: itjeren7@gmail.com*

Изучение влияния гуминовых веществ на репродукцию и морфометрические параметры ирисов

Л. Ф. Бекшенева, А. А. Реут[✉]

Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

[✉]E-mail: cvetok.79@mail.ru

Аннотация. Совершенствование агротехники и поддержка репродукции растений в коллекциях ботанических садов остаются актуальными. **Цель исследований** – изучить эффективность применения препарата «Лигногумат АМ» в цветоводстве и репродукции на примере представителей родового комплекса *Iris* L. Объекты исследования – виды и сорта рода ирис (*I. sibirica* L., *I. pseudacorus* L., *I. hybrida* hort. ‘Edith Wolford’, ‘Banbury Ruffles’, ‘Before the Storm’). **Методы.** Обработку растений проводили в разные фазы развития растений, опрыскивая листья, поливая опытные образцы, а также сочетая оба варианта – внекорневую подкормку с корневой. Контролем служили растения, обработанные водой. **Научная новизна.** Впервые изучено влияние гуминовых веществ на представителях рода *Iris* L. **Результаты.** Выявлено достоверное увеличение длины (‘Before the Storm’ – на 7,8 %) и ширины вегетативных побегов (‘Banbury Ruffles’, ‘Before the Storm’ – на 5,6 и 3,7 % соответственно). Обработка растений «Лигногуматом АМ» положительно отразилась на состоянии водного режима ирисов. Водный дефицит сократился на 2,8–5,3 % в результате корневой обработки, водоудерживающая способность возросла на 5,7 % в ходе полива и смешанной обработки. Препарат «Лигногуматом АМ» не оказал влияния на всхожесть семян *I. sibirica* и *I. pseudacorus*, однако был высокоэффективен в долгосрочном опыте. «Лигногумат АМ» способствовал уменьшению выпадения годовалых растений *I. sibirica* на 20,8 %, а также росту выживших растений *I. pseudacorus* на 39,7 %. Стимулятор также показал значительный пролонгированный ростостимулирующий эффект, что способствовало улучшению качества рассады. Длина листьев под действием препарата увеличилась на 64 % для *I. sibirica* и 17 % для *I. pseudacorus*, ширина листьев *I. sibirica* выросла на 14 %. По итогам исследования стимулятор роста «Лигногумат АМ» можно считать эффективным перспективным препаратом для использования в цветоводстве и репродукции декоративных и редких видов ириса.

Ключевые слова: регулятор роста, Лигногумат АМ, сорта *Iris* L., *I. sibirica*, *I. pseudacorus*, семена, водный режим, всхожесть, выживаемость, морфометрические параметры

Благодарности. Работа выполнена по теме госзадания 2022–2024 гг. «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования», регистрационный номер НИОКТР 122033100041-9.

Для цитирования: Бекшенева Л. Ф., Реут А. А. Изучение влияния гуминовых веществ на репродукцию и морфометрические параметры ирисов // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 649–660. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-649-660>.

Дата поступления статьи: 06.12.2023, **дата рецензирования:** 12.02.2024, **дата принятия:** 16.04.2024.

Study of the influence of humic substances on the reproduction and morphometric parameters of irises

L. F. Beksheneva, A. A. Reut✉

South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

✉E-mail: cvetok.79@mail.ru

Abstract. Improving agricultural technology and supporting plant reproduction in the collections of botanical gardens remain relevant. **The purpose** of the research is to study the effectiveness of using the preparation “Lignohumate AM” in floriculture and reproduction using the example of representatives of the generic complex *Iris* L. The objects of study are species and varieties of the genus *Iris* (*I. sibirica* L., *I. pseudacorus* L., *I. hybrida hort.* ‘Edith Wolford’, ‘Banbury Ruffles’, ‘Before the Storm’). **Methods.** Treatment of plants was carried out at different phases of plant development, spraying leaves, watering experimental samples, and also combining both options – foliar feeding with root feeding. Plants treated with water served as control. **Scientific novelty.** For the first time, we studied the effect of humic substances on representatives of the genus *Iris* L. **Results.** A significant increase in the length (‘Before the Storm’ – by 7,8 %) and width of vegetative shoots (‘Banbury Ruffles’, ‘Before the Storm’ – by 5,6 and 3,7 %, respectively) was revealed. Treatment of plants with “Lignohumate AM” had a positive effect on the water regime of irises. Water deficit decreased by 2,8–5,3 % as a result of root treatment, water-holding capacity increased by 5,7 % during irrigation and mixed treatment. The preparation “Lignohumate AM” had no effect on the germination of seeds of *I. sibirica* and *I. pseudacorus*, but was highly effective in a long-term experiment. “Lignohumate AM” contributed to a reduction in the loss of one-year-old *I. sibirica* plants by 20,8 %, as well as the growth of surviving *I. pseudacorus* plants by 39,7 %. The stimulator also showed a significant prolonged growth-stimulating effect, which contributed to improving the quality of seedlings. The length of leaves under the influence of the preparation increased by 64% for *I. sibirica* and 17 % for *I. pseudacorus*, the width of leaves of *I. sibirica* increased by 14 %. Based on the results of the study, the growth stimulator “Lignohumate AM” can be considered an effective promising drug for use in floriculture and the reproduction of ornamental and rare species of iris.

Keywords: growth regulator, Lignohumate AM, varieties *Iris* L., *I. sibirica*, *I. pseudacorus*, seeds, water regime, germination, survival, morphometric parameters

Acknowledgements. The work was carried out on the topic of the state task for 2022–2024. “Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: assessment of the state and monitoring of dynamics, problems of conservation, reproduction, increase and rational use”, registration number of research, development and technological works 122033100041-9.

For citation: Beksheneva L. F., Reut A. A. Study of the influence of humic substances on the reproduction and morphometric parameters of irises. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 649–660. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-649-660>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.12.2023, **date of review:** 12.02.2024, **date of acceptance:** 16.04.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Гуминовые вещества входят в состав многих новейших препаратов, предназначенных для сельского хозяйства [1]. Традиционная агротехника, включающая в себя полив растений с использованием стимуляторов роста, дополняется техникой опрыскивания листа с дальнейшим кутикулярным транспортом гуматов [2]. Гуминовые кислоты характеризуются гормоноподобной активностью и используются как стимуляторы роста побегов и корней [3],

увеличивающие содержание хлорофилла, сахаров, белка, а также активность ферментов [4]. Особенно важно, что гуминовые вещества положительно влияют на растения при неблагоприятных условиях: во время засухи, при возвратных заморозках, избытке в почве азота или пестицидов, кислородном голодании и различных болезнях [5], смягчают солевой стресс [6], повышают урожайность и качество продукции [7; 8].

Качество гуматов традиционно исследовано на сельскохозяйственных культурах. Так, было выявлено, что использование препаратов, содержащих гуматы, сокращают период вегетации растений [9] и способствуют увеличению урожайности сои [10], чечевицы [11]; замачивание семян табака способствовало увеличению выхода рассады [12].

В то же время биологическая активность гуминовых препаратов в сфере цветоводства изучена значительно слабее. В результате исследований ряда авторов по влиянию гуматов на рост и развитие некоторых цветочно-декоративных культур (*Campanula persicifolia* L., *C. carpatica* Jacq., *Phlox paniculata* L.) выявлено, что изученные препараты положительно повлияли на такие декоративные признаки, как обилие и длительность цветения, размер цветка, размер и плотность соцветия [13]. Согласно информации других авторов, после подкормок роз гуминовыми препаратами наблюдали увеличение общей продуктивности на 35 % и улучшение качества продукции. Кусты роз стали более мощными, наблюдалось отращивание побегов возобновления, растения меньше поражались мучнистой росой [14].

Среди всего многообразия гуматов особого внимания заслуживает «Лигногумат АМ» – гуминовое удобрение, обладающее комплексным действием антистрессанта, регулятора роста, иммуномодуля-

тора и прилипателя. Данный препарат имеет один из самых высоких уровней содержания гуминовых кислот (от 20 % для жидких модификаций и до 90 % – для сухих), мощно воздействует на растительный организм, высвобождая его скрытые резервы, и способствует увеличению продуктивности культуры [14].

Ботанические сады содержат обширные коллекции цветочно-декоративных растений. Совершенствование агротехники и поиск возможностей для поддержания и воспроизведения коллекций в часто неблагоприятных условиях остаются актуальными. В частности, это касается современных сортов ириса садового, вводимых в культуру в климатических условиях, отличных от места селекции. В цветоводстве нашли применение не только сорта, но и виды ирисов, в том числе имеющие статус редких или охраняемых. Так, *I. sibirica* и *I. pseudacorus*, пропагандируемые как декоративные растения [15], занесены в Красные книги [16; 17] и запрещены к изъятию из природы. В связи с этим становится актуальным воспроизведение видов в искусственных условиях.

Цель исследований – изучить эффективность применения препарата «Лигногумат АМ» в цветоводстве и репродукции на примере видов и сортов рода *Iris* L.

Таблица 1
Характеристика сортов ириса садового из коллекции ЮУБСИ УФИЦ РАН

Название сорта	Селекционер, год создания, страна	Родители	Садовый класс	Высота растения, см	Описание цветка
'Before the Storm'	Innerst, 1989, США	'Superstition' × 'Raven's Roost'	Высокий бородатый ирис	90–95	Фол и стандарт черные (темно-фиолетовые), бородка темно-фиолетовая
'Edith Wolford'	Hager, 1986, США	'Merry Madrigal' × 'Freedom Road'	Высокий бородатый ирис	100–105	Фол сине-фиолетовый, стандарт прозрачный канареечно-желтый, бородка синяя с оранжевым кончиком
'Banbury Ruffles'	Неизвестен	Неизвестны	Стандартный карликовый бородатый ирис	25–35	Фол и стандарт темно-фиолетово-синие, бородка белая

Table 1
Characteristics of garden iris varieties from the collection of the SUBGI UFRS RAS

Variety name	Breeder, year of creation, country	Parents	Garden class	Plant height, cm	Description of the flower
'Before the Storm'	Innerst, 1989, USA	'Superstition' × 'Raven's Roost'	Tall Bearded Iris	90–95	Fall and standard black (dark purple), beard dark purple
'Edith Wolford'	Hager, 1986, USA	'Merry Madrigal' × 'Freedom Road'	Tall Bearded Iris	100–105	The fall is blue-violet, the standard is transparent canary yellow, the beard is blue with an orange tip
'Banbury Ruffles'	Unknown	Unknown	Standard Dwarf Bearded Iris	25–35	Fall and standard dark violet-blue, beard white

Научной новизной данной работы являются исследования по разработке схемы применения регулятора роста растений для повышения качественных показателей ирисов в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевой опыт был заложен в вегетационном сезоне 2022 года, наблюдения продолжены в 2023 году на нескольких сортах ириса садового (таблица 1; рис. 1). Объектами исследования являлись многолетние растения из коллекции Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН), достигшие генеративной стадии развития.

Почва на опытном участке серая лесная с содержанием гумуса 5,7–6,2 % (ГОСТ 26424-85), подвижного фосфора – 141–200 мг/кг почвы, подвижного калия – 132–145 мг/кг (ГОСТ 26204-91), нитратного азота – 9,3 мг/кг (ГОСТ 26951-86), рН солевого почвенного раствора – 6,3–6,5 единицы.

Среднегодовая температура в 2022 году была выше нормы на 0,7 °С. Весна была прохладной, средняя температура в апреле достигала значения 1,6 °С, что ниже среднеегодового показателя 5,2 °С. Май по температуре и осадкам соответствовал норме. Метеоусловия летнего периода 2022 года характеризовались значительной полярностью. В июне наблюдался переизбыток увлажнения – выпало 132 мм осадков против 67 мм в норме. В июле, августе и сентябре, напротив, отмечалась засуха – количество выпавших осадков составило 17 %, 22,4 % и 43,8 % от нормы. В этот же период зафиксирована жаркая погода с превышением средней температуры на 0,7 °С, 2,5 °С и 0,4 °С соответственно.

Зимний период 2022/2023 гг. характеризовался ранним наступлением (минимальная температура в ноябре 2022 составила –26 °С) и значительны-

ми низкими температурами (до –39 °С) в целом. В 2023 году весна была ранней и засушливой, среднемесячные температуры апреля и мая превышали норму на 3,9 и 2,9 °С соответственно. На фоне повышенных среднемесячных температур в летние месяцы также отмечался существенный недостаток влаги, что привело к засухе в этот период.

Изучаемый препарат «Лигногумат АМ» представляет собой комплекс гуминовых (80–90%) и фульвовых (10 %) кислот, обогащенный микроэлементами в хелатной форме (калий – 9 %, сера – 3 %, железо – 0,2 %, цинк, медь, кобальт, марганец – по 0,12 %, бор – 0,15 %, молибден – 0,015 %, селен – 0,005 %). Показатель концентрации водородных ионов (рН) 7–10.

Закладку опытов осуществляли следующим образом. В фазы отрастания, бутонизации и цветения рабочим раствором (5 г/л) опрыскивали листья (по 10 шт.), поливали опытные растения (1 л на отдельное растение согласно рекомендации производителя), а также сочетали оба варианта – внекорневую подкормку с корневой (по 10 растений в каждом варианте). Контролем служили растения, обработанные водой в таком же количестве, как опытные образцы. Опыт был заложен в трехкратной повторности по общепринятым методикам.

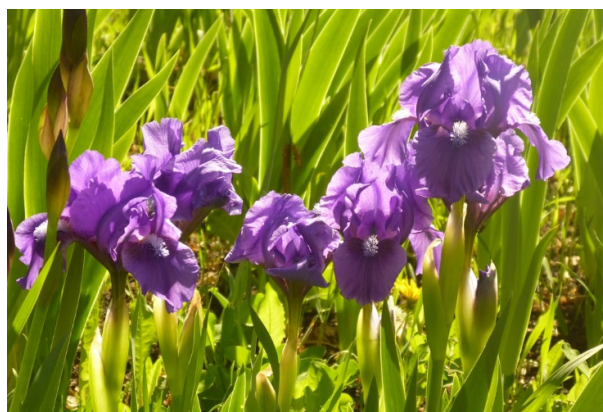
Влияние регулятора роста «Лигногумат АМ» на сорта ириса оценивали по нескольким параметрам (длина и ширина листа, длина и ширина побега, диаметр и высота цветка, длина и ширина фолы – наружные доли околоцветника, длина и ширина стандарта – внутренние доли околоцветника). Морфометрические параметры надземных органов измеряли в фазу максимального развития каждого из них: цветонос – во время цветения, цветки – в период полного раскрытия, листовые лопатки – в сезон вторичного роста. Физиологические параметры (общая оводненность, водоудерживающая способность и водный дефицит листьев) определяли по общепринятым методикам [18].



'Before the Storm'



'Edith Wolford'



'Banbury Ruffles'

Рис. 1. Объекты исследования – сорта ириса садового
Fig. 1. Objects of study are garden iris varieties

Таблица 2
Характеристика видов ириса

Вид	Русское название	Ареал	Описание семян
<i>I. pseudacorus</i> L.	Касатик ложноаирный, касатик желтый, касатик болотный	Европейско-кавказский вид. Европа, Кавказ, Западная Сибирь, Северная Африка, Малая Азия	Коротко-цилиндрические, плоскожатые, округлые
<i>I. sibirica</i> L.	Касатик сибирский	Евразиатский вид. Восточная Европа, Кавказ, Западная и Средняя Сибирь, Армения, Казахстан	Уплющенные с крыловидными выростами, D-формы

Table 2
Characteristics of iris species

Species	Russian name	Habitat	Description of seeds
<i>I. pseudacorus</i> L.	Yellow iris, swamp iris	European-Caucasian species. Europe, Caucasus, Western Siberia, North Africa, Asia Minor	Short-cylindrical, flat-compressed, rounded
<i>I. sibirica</i> L.	Siberian iris	Eurasian species. Eastern Europe, Caucasus, Western and Central Siberia, Armenia, Kazakhstan	Flattened with wing-shaped outgrowths, D-shaped



Рис. 2. Объекты исследования – семена видовых ирисов



Fig. 2. Objects of study are seeds of iris species

В годовом лабораторном опыте (2022–2023 гг.) определяли влияние препарата на всхожесть семян, выживаемость и морфометрические параметры проростков растений (длина и ширина листьев) (таблица 2; рис. 2).

Семена по 100 шт. помещали в марлевые мешочки и замачивали перед посевом на 12 часов в 1-процентном рабочем растворе (0,1 кг препарата на 10 л воды). Семена, замоченные в воде, служили контролем. Семена высевали в ящики, заполненные смесью почвы и песка (в соотношении 2 : 1). Повторность опыта трехкратная.

Всхожесть семян вычисляли путем подсчета проросших семян к числу посеянных в процентах на 29-е, 43-и и 62-е сутки. Выживаемость растений была определена через год после начала опыта. Учет биометрических показателей проростков включал в себя измерение длины и ширины самого крупного листа в лопатке годовалых растений.

Статистическая обработка результатов проведения методами описательной статистики с использованием коэффициента Стьюдента.

Результаты (Results)

В таблице 3 показаны результаты морфометрических измерений опытных растений с учетом вариантов обработок. Для парциального куста разме-

ры листа имеют большое значение, поскольку этот орган берет на себя основные функции фотосинтеза. Было выявлено, что корневая обработка способствовала росту параметров листьев сортов 'Banbury Ruffles' (на 8,6 и 5,6 % соответственно) и 'Before the Storm' (на 6,5 и 3,7 % соответственно). В случае с листовой обработкой выявлено достоверное увеличение длины ('Before the Storm' – на 7,8 %) и ширины вегетативных побегов ('Banbury Ruffles', 'Before the Storm' – на 5,6 и 3,7 % соответственно). Различий между показателями контроля и совместной обработки (корневая + некорневая) не выявлено.

Параметры цветка, имеющие значение для формирования декоративных качеств растения, были удивительно однообразными. Достоверных отличий между контролем и опытными вариантами не отмечено. Согласно данным других исследователей, при увеличении концентрации «Лигногумата» (> 1 %) препарат может проявлять свойства ингибитора [19].

Параметры генеративных побегов также были близки к контролю. Лишь у сорта 'Edith Wolford' длина побега достоверно увеличилась на 9,5 % в случае с корневой обработкой. Таким образом, на декоративность ирисов препарат практически не оказал влияния.

Состояние водного режима растений существенно отражается на их росте, развитии и продуктивности. Чем выше оводненность и водоудерживающая способность и чем ниже водный дефицит, тем в большей степени растение адаптировано к стрессовым факторам. На рис. 3 отражены результаты влияния препарата на водный режим ирисов. В ходе эксперимента установлено, что содержание воды в тканях опытных растений не отличается от контроля. На 5,7 % возросла водоудерживающая способность листьев ('Before the Storm') в случае корневой и смешанной обработок. Водный дефи-

цит снизился на 2,8–5,3 % в ходе полива растений «Лигногуматом», однако другие варианты опыта не оказали влияния на значения показателя.

Результаты исследований всхожести семян видовых ирисов отражены на рис. 4. Обработка препаратом семян *I. pseudacorus* увеличила энергию прорастания на 7 %, однако дальнейший учет лабораторной всхожести показал отсутствие различий между показателями опыта и контроля. К концу второго месяца она составила 33–34 %, незначительно снизившись на 2–4 % за счет выпадения проростков по сравнению с результатами всхожести на 43-и сутки.

Таблица 3
Морфометрические показатели растений в зависимости от обработки препаратом «Лигногумат АМ» (среднее ± стандартное отклонение)

Сорт	Органы растения	Параметры, см	Варианты обработок			
			Корневая	Некорневая	Корневая + некорневая	Контроль
'Banbury Ruffles'	Листья	Длина	41,5 ± 2,3*	36,8 ± 3,1	35,3 ± 2,1	38,2 ± 1,8
		Ширина	1,9 ± 0,1*	1,9 ± 0,1*	1,8 ± 0,3	1,8 ± 0,2
	Побеги	Длина	19,2 ± 2,4	21,4 ± 2,2	20,8 ± 3,4	22,9 ± 2,6
		Ширина	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1
	Цветок	Диаметр	10,1 ± 0,3	10,1 ± 0,7	10,3 ± 0,3	10,1 ± 0,6
		Высота	3,9 ± 0,5	4,4 ± 0,7	4,1 ± 0,4	4,4 ± 0,2
	Фол	Длина	6,1 ± 0,2	6,2 ± 0,2	6,1 ± 0,1	6,0 ± 0,3
		Ширина	3,6 ± 0,2	3,8 ± 0,4	3,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1
	Стандарт	Длина	5,8 ± 0,2	6,1 ± 0,2	5,9 ± 0,3	6,1 ± 0,3
		Ширина	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,1 ± 0,2	4,1 ± 0,2
'Before the Storm'	Листья	Длина	52,8 ± 3,7*	53,5 ± 4,1*	48,7 ± 3,7	49,6 ± 3,7
		Ширина	2,8 ± 0,4*	2,8 ± 0,2*	2,5 ± 0,4	2,7 ± 0,3
	Побеги	Длина	68,5 ± 4,1	73,0 ± 3,9	71,4 ± 4,4	73,1 ± 5,2
		Ширина	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1
	Цветок	Диаметр	11,5 ± 1,4	11,0 ± 0,8	10,8 ± 0,8	11,1 ± 1,2
		Высота	6,0 ± 0,5	6,2 ± 0,5	6,0 ± 0,6	6,1 ± 0,4
	Фол	Длина	11,0 ± 0,5	11,1 ± 0,6	11,0 ± 0,8	11,0 ± 0,6
		Ширина	7,8 ± 0,2	8,0 ± 0,3	8,0 ± 0,2	8,1 ± 0,3
	Стандарт	Длина	7,9 ± 0,3	8,0 ± 0,3	7,9 ± 0,4	7,9 ± 0,4
		Ширина	6,5 ± 0,2	6,4 ± 0,1	6,5 ± 0,3	6,5 ± 0,1
'Edith Wolford'	Листья	Длина	43,8 ± 7,3	39,1 ± 6,3	44,7 ± 6,6	47,3 ± 7,0
		Ширина	3,4 ± 0,7	2,9 ± 0,5	3,1 ± 0,5	3,1 ± 0,3
	Побеги	Длина	69,0 ± 3,8*	62,0 ± 3,0	56,5 ± 6,1	63,0 ± 4,1
		Ширина	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1
	Цветок	Диаметр	15,3 ± 0,9	15,1 ± 1,0	14,8 ± 1,1	15,3 ± 1,2
		Высота	11,0 ± 1,0	11,2 ± 1,0	10,9 ± 0,8	11,0 ± 0,9
	Фол	Длина	9,0 ± 0,5	9,0 ± 0,3	9,1 ± 0,4	9,0 ± 0,4
		Ширина	7,6 ± 0,3	7,7 ± 0,5	7,4 ± 0,4	7,7 ± 0,3
	Стандарт	Длина	8,5 ± 0,3	8,6 ± 0,5	8,4 ± 0,4	8,6 ± 0,5
		Ширина	7,3 ± 0,2	7,4 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,3 ± 0,2

Примечание. * Различия между показателями контроля и опыта достоверны при $p \leq 0,05$; фол – наружные доли околоцветника; стандарт – внутренние доли околоцветника.

Table 3

Morphometric parameters of plants depending on treatment with "Lignohumate AM" (average \pm standard deviation)

Biology and biotechnologies

Variety	Plant organs	Parameters, cm	Treatment options				
			root	non-root	root + non-root	control	
'Banbury Ruffles'	Leaves	Length	41.5 \pm 2.3*	36.8 \pm 3.1	35.3 \pm 2.1	38.2 \pm 1.8	
		Width	1.9 \pm 0.1*	1.9 \pm 0.1*	1.8 \pm 0.3	1.8 \pm 0.2	
	Shoots	Length	19.2 \pm 2.4	21.4 \pm 2.2	20.8 \pm 3.4	22.9 \pm 2.6	
		Width	0.6 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	
	Flower	Diameter	10.1 \pm 0.3	10.1 \pm 0.7	10.3 \pm 0.3	10.1 \pm 0.6	
		Height	3.9 \pm 0.5	4.4 \pm 0.7	4.1 \pm 0.4	4.4 \pm 0.2	
	Fall	Length	6.1 \pm 0.2	6.2 \pm 0.2	6.1 \pm 0.1	6.0 \pm 0.3	
		Width	3.6 \pm 0.2	3.8 \pm 0.4	3.7 \pm 0.1	3.8 \pm 0.1	
	Standart	Length	5.8 \pm 0.2	6.1 \pm 0.2	5.9 \pm 0.3	6.1 \pm 0.3	
		Width	4.1 \pm 0.1	4.1 \pm 0.1	4.1 \pm 0.2	4.1 \pm 0.2	
	'Before the Storm'	Leaves	Length	52.8 \pm 3.7*	53.5 \pm 4.1*	48.7 \pm 3.7	49.6 \pm 3.7
			Width	2.8 \pm 0.4*	2.8 \pm 0.2*	2.5 \pm 0.4	2.7 \pm 0.3
		Shoots	Length	68.5 \pm 4.1	73.0 \pm 3.9	71.4 \pm 4.4	73.1 \pm 5.2
			Width	1.0 \pm 0.1	1.2 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1
Flower		Diameter	11.5 \pm 1.4	11.0 \pm 0.8	10.8 \pm 0.8	11.1 \pm 1.2	
		Height	6.0 \pm 0.5	6.2 \pm 0.5	6.0 \pm 0.6	6.1 \pm 0.4	
Fall		Length	11.0 \pm 0.5	11.1 \pm 0.6	11.0 \pm 0.8	11.0 \pm 0.6	
		Width	7.8 \pm 0.2	8.0 \pm 0.3	8.0 \pm 0.2	8.1 \pm 0.3	
Standart		Length	7.9 \pm 0.3	8.0 \pm 0.3	7.9 \pm 0.4	7.9 \pm 0.4	
		Width	6.5 \pm 0.2	6.4 \pm 0.1	6.5 \pm 0.3	6.5 \pm 0.1	
'Edith Wolford'		Leaves	Length	43.8 \pm 7.3	39.1 \pm 6.3	44.7 \pm 6.6	47.3 \pm 7.0
			Width	3.4 \pm 0.7	2.9 \pm 0.5	3.1 \pm 0.5	3.1 \pm 0.3
		Shoots	Length	69.0 \pm 3.8*	62.0 \pm 3.0	56.5 \pm 6.1	63.0 \pm 4.1
			Width	0.9 \pm 0.1	1.0 \pm 0.2	1.0 \pm 0.1	1.2 \pm 0.1
	Flower	Diameter	15.3 \pm 0.9	15.1 \pm 1.0	14.8 \pm 1.1	15.3 \pm 1.2	
		Height	11.0 \pm 1.0	11.2 \pm 1.0	10.9 \pm 0.8	11.0 \pm 0.9	
	Fall	Length	9.0 \pm 0.5	9.0 \pm 0.3	9.1 \pm 0.4	9.0 \pm 0.4	
		Width	7.6 \pm 0.3	7.7 \pm 0.5	7.4 \pm 0.4	7.7 \pm 0.3	
	Standart	Length	8.5 \pm 0.3	8.6 \pm 0.5	8.4 \pm 0.4	8.6 \pm 0.5	
		Width	7.3 \pm 0.2	7.4 \pm 0.1	7.3 \pm 0.1	7.3 \pm 0.2	

Note. * Differences between control and experimental indicators are significant at $p \leq 0.05$; fall - outer perianth lobes; standart - internal perianth lobes

Таблица 4

Морфометрические параметры длины и ширины листьев годовалых растений

<i>I. sibirica</i>				<i>I. pseudacorus</i>			
Длина, см		Ширина, см		Длина, см		Ширина, см	
Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
23 \pm 2,3	14 \pm 1,9	0,4 \pm 0,2	0,35 \pm 0,2	35 \pm 4,1	30 \pm 3,8	0,4 \pm 0,1	0,38 \pm 0,2

Table 4

Morphometric parameters of the length and width of leaves of one-year-old plants

<i>I. sibirica</i>				<i>I. pseudacorus</i>			
Length, cm		Width, cm		Length, cm		Width, cm	
Experience	Control	Experience	Control	Experience	Control	Experience	Control
23.0 \pm 2.3	14.0 \pm 1.9	0.4 \pm 0.2	0.35 \pm 0.2	35.0 \pm 4.1	30.0 \pm 3.8	0.4 \pm 0.1	0.38 \pm 0.2

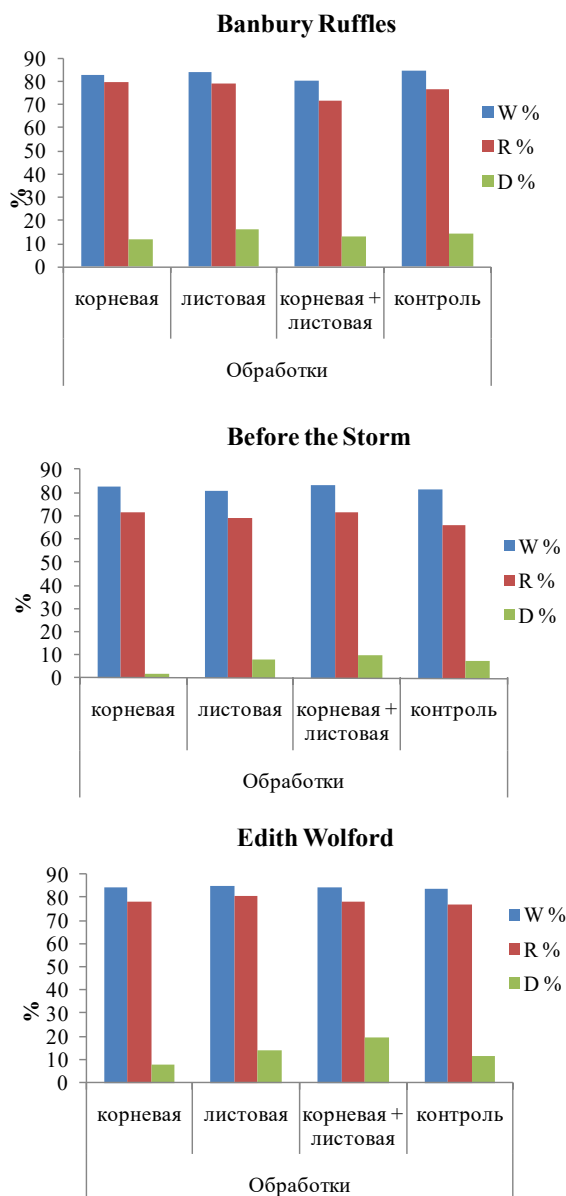


Рис. 3. Влияние регулятора роста «Лигногумат АМ» на показатели водного режима ирисов: W – общая оводненность, R – водоудерживающая способность, D – водный дефицит, %

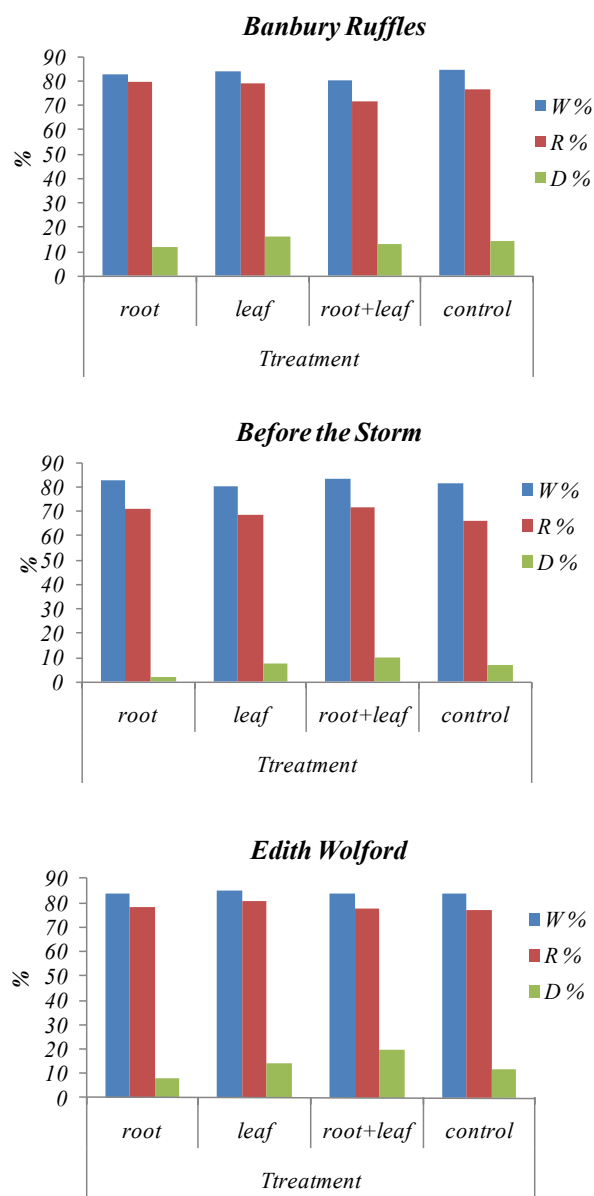


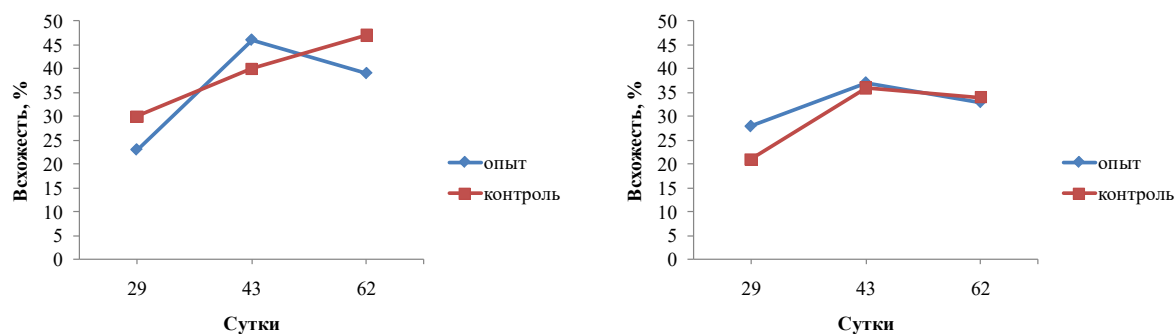
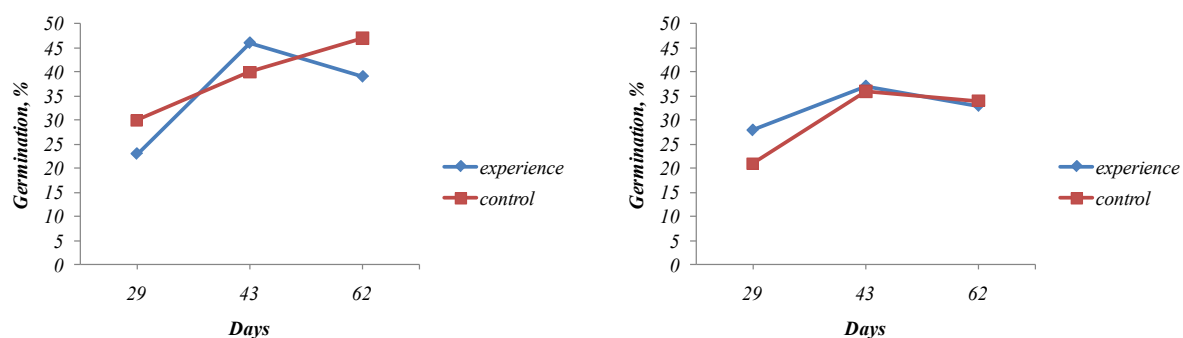
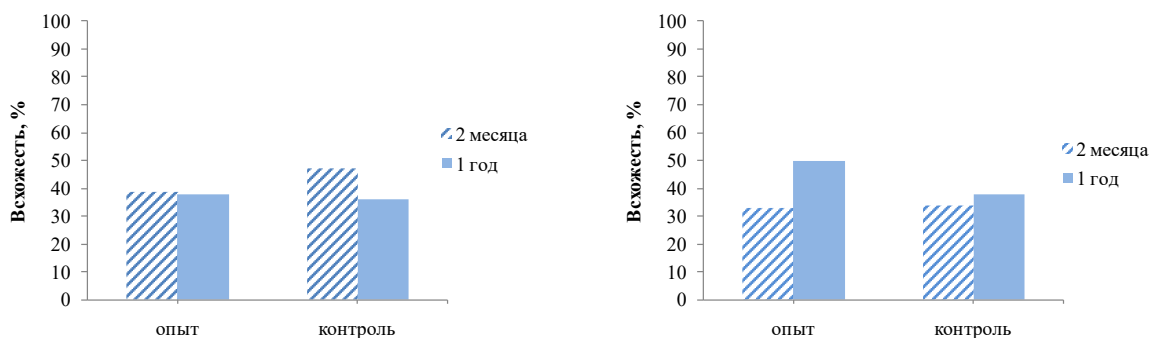
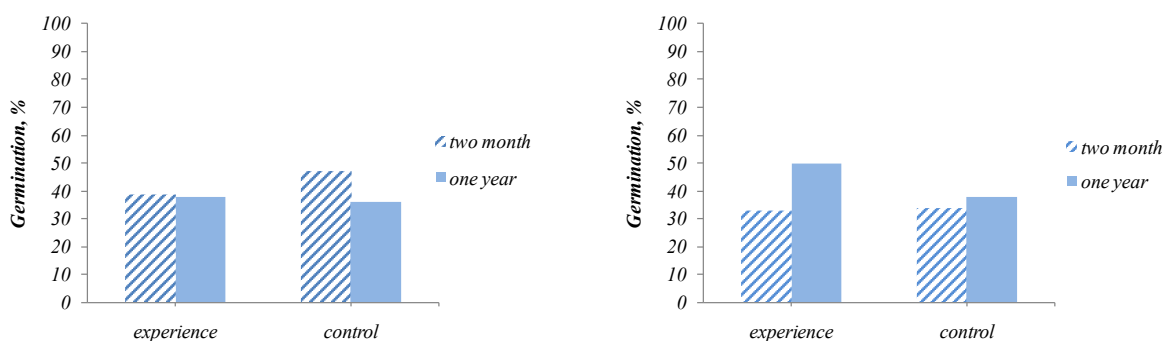
Fig. 3. Effect of the growth regulator "Lignohumate AM" on the water regime of irises: W – total water content, R – water holding capacity, D – water deficit, %

Между значениями всхожести семян *I. sibirica* также не выявлено существенной разницы. Положительное влияние препарата отмечается на 43-и сутки – всхожесть выросла на 6%. Однако к концу второго месяца выпад проростков в опыте составил 7%, что нивелировало предыдущий результат.

Наблюдения за годовальными растениями отражены на рис. 5 и в таблице 4. Достоверные различия между показателями всхожести в контрольной и опытной группах ($p \geq 0,05$) показывают, что препарат способствует устойчивости и выживанию растений, а также увеличению количества всходов в длительном периоде. В случае с *I. sibirica* отмечается выпад годовальных проростков на 23,4% в контроле и всего на 2,6% в опыте. Уменьшение выпад опытных растений, таким образом, составило 20,8%.

По сравнению с двухмесячными всходами количество годовальных растений *I. pseudacorus* выросло на 51,5% в опыте, что на 39,7% больше, чем в контроле. Число выживших растений в контроле увеличилось всего на 11,8%.

Препарат оказал влияние на морфометрические показатели длины листьев годовальных ирисов (таблица 4). У обоих видов опытная группа растений показала достоверно большую длину листьев по сравнению с контролем (на 64% для *I. sibirica* и на 17% для *I. pseudacorus*). Ширина листа *I. sibirica* также достоверно отличалась от контрольного варианта (на 14%). Однако различия по данному параметру для *I. pseudacorus* не были обнаружены.

Рис. 4. Лабораторная всхожесть семян представителей рода *Iris L.*Fig. 4. Laboratory germination of seeds of representatives of the genus *Iris L.*Рис. 5. Выживаемость годовалых всходов представителей рода *Iris L.*Fig. 5. Survival rate of one-year-old seedlings of representatives of the genus *Iris L.*

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, установлено положительное влияние препарата «Лигногумат АМ» на рост и развитие растений ириса, что позволяет рекомендовать его к использованию в цветоводческой практике.

Корневые поливы и листовая обработка сортов ириса садового препаратом «Лигногумат АМ» сти-

мулировали рост растений с точки зрения морфометрических параметров листьев. За единственным исключением («Edith Wolford», корневая обработка) не обнаружено влияния «Лигногумата АМ» на рост генеративных органов – цветка и цветоноса.

Обработка растений «Лигногуматом АМ» положительно отразилась на состоянии водного режима

ирисов. Водный дефицит сократился на 2,8–5,3 % в результате корневой обработки, а водоудерживающая способность возросла на 5,7 % в ходе полива и смешанной обработки.

Препарат не оказал влияния на всхожесть семян *I. sibirica* и *I. pseudacorus*, однако был высокоэффективен в долгосрочном опыте. «Лигногумат АМ» способствовал уменьшению выпада годовалых растений *I. sibirica* на 20,8 %, а также росту выживших растений *I. pseudacorus* на 39,7 %. Стимулятор также показал значительный пролонгированный

ростостимулирующий эффект, что способствовало улучшению качества рассады. Длина листьев под действием препарата увеличилась на 64 % для *I. sibirica* и 17 % для *I. pseudacorus*, ширина листьев *I. sibirica* также выросла на 14 %.

По итогам исследования стимулятор роста «Лигногумат АМ» можно считать эффективным перспективным препаратом для использования в цветоводстве и репродукции декоративных, редких видов ириса.

Библиографический список

1. Roupheal Y., Colla G. Biostimulants in Agriculture // *Frontiers in Plant Science*. 2020. No. 11. Article number 40. DOI: 10.3389/fpls.2020.00040.
2. Smilkova M., Smilek J., Kalina M., Klucakova M., Pekar M., Sedlacek P. A simple technique for assessing the cuticular diffusion of humic acid biostimulants // *Plant Methods*. 2019. Vol. 31, No. 15. Article number 83. DOI: 10.1186/s13007-019-0469-x.
3. Roupheal Y., Kyriacou M. C., Petropoulos S. A., De Pascale S., Colla G. Improving vegetable quality in controlled environments // *Scientia Horticulturae*. 2018. No. 234. Pp. 275–289. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.033.
4. Rathor P., Gorim L. Y., Thilakarathna M. S. Plant physiological and molecular responses triggered by humic based biostimulants – a way forward to sustainable agriculture // *Plant Soil*. 2023. Vol. 492. Pp. 31–60. DOI: 10.1007/s11104-023-06156-7.
5. Григорьев А. А., Авдеев А. А. Определение влияния ростостимулирующего препарата «Гумат +7» на выход, приживаемость и качество привитых виноградных саженцев // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 9 (174). С. 79–85. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-9-79-85.
6. El-Beltagi H. S., Al-Otaibi H. H., Parmar A., Ramadan K. M. A., Lobato A. K. D. S., El-Mogy M. M. Application of Potassium Humate and Salicylic Acid to Mitigate Salinity Stress of Common Bean // *Life (Basel)*. 2023. Vol. 5, No. 13 (2). Article number 448. DOI: 10.3390/life13020448.
7. Ратников А. Н., Петров К. В., Иванкин Н. Г., Сулов А. А., Свириденко Д. Г., Яценко В. В. Влияние нового органоминерального препарата «Гумитон» на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 4 (20). С. 86–95. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-86-95.
8. Лупова Е. И., Виноградов Д. В. Влияние гуминового удобрения и доз минеральных удобрений на продуктивность ярового рапса // *Вестник аграрной науки*. 2020. № 3 (84). С. 31–37. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.31.
9. Демьянова Н. И., Гордеева Н. Н. Изучение влияния Лигногумата на формирование урожая сои // *Международный студенческий научный вестник*. 2018. № 2. С. 127.
10. Елисеева Л. В., Каюкова О. В., Филиппова С. В. Формирование стеблестоя зерновых бобовых культур под влиянием регуляторов роста растений // *Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сборник IV Всероссийской (национальной) научной конференции*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос», 2019. С. 23–25.
11. Елисеева Л. В., Елисеев И. П., Калгина А. В. Эффективность применения лигногумата калия при возделывании чечевицы // *Инновационные технологии в АПК: материалы Международной научно-практической конференции*. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. С. 155–157.
12. Тютюнникова Е. М., Плотникова Т. В. Опыт применения удобрения Лигногумат (марки АМ калийный) в табаководстве // *Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – практические результаты: материалы XVI Международной научно-практической конференции*. Минск: Белорусский государственный университет, 2018. С. 192–193.
13. Реут А. А., Аллаярва И. Н., Биглова А. Р. Влияние стимулятора роста на биолого- морфологические параметры многолетних травянистых растений // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 6 (235). С. 87–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97.
14. Кохан С. К. Результативность применения комплексного препарата Лигногумат на сельскохозяйственных культурах // *Гуминовые вещества в биосфере: материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Д. С. Орлова и III Международной научной школы*. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2018. С. 121.
15. Реут А. А., Бекшенева Л. Ф. Токсиканты I класса опасности в декоративных травянистых многолетниках // *Таврический вестник аграрной науки*. 2022. № 1 (29). С. 132–144.

16. Хрынова Т. Р., Хрынова А. Н., Широков А. И., Мишукова И. В. Редкие виды алтайской флоры в Ботаническом саду ННГУ // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19, № 1. С. 302–306. DOI: 10.14258/pbssm.2020060.

17. Красная книга Республики Башкортостан. Растения и грибы / Под ред. Мартыненко В. Б. Москва: Студия онлайн, 2021. Т. 1. 392 с.

18. Бекшенева Л. Ф., Реут А. А. Особенности водного режима аборигенных и интродуцированных видов рода *Iris* L. на Южном Урале // Аграрный вестник Урала. 2021. № 7 (210). С. 2–15. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-2-15.

19. Коваль Е. В., Огородникова С. Ю. Влияние цианобактерий и лигногумата на рост и биохимические показатели растений ячменя // Агрехимия. 2021. № 6. С. 65–72. DOI: 10.31857/S0002188121030108.

Об авторах:

Лилия Файзиевна Бекшенева, младший научный сотрудник лаборатории цветоводства и селекции, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806. *E-mail: linden07@yandex.ru*

Антонина Анатольевна Реут, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией цветоводства и селекции, Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-4809-6449, Author ID 625318. *E-mail: cvetok.79@mail.ru*

References

1. Roupheal Y., Colla G. Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: 40. DOI: 10.3389/fpls.2020.00040.

2. Smilkova M., Smilek J., Kalina M., Klucakova M., Pekar M., Sedlacek P. A simple technique for assessing the cuticular diffusion of humic acid biostimulants. *Plant Methods*. 2019; 31 (15): 83. DOI: 10.1186/s13007-019-0469-x.

3. Roupheal Y., Kyriacou M. C., Petropoulos S. A., De Pascale S., Colla G. Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*. 2018; 234: 275–289. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.033.

4. Rathor P., Gorim L. Y., Thilakarathna M. S. Plant physiological and molecular responses triggered by humic based biostimulants – a way forward to sustainable agriculture. *Plant Soil*. 2023; 492: 31–60. DOI: 10.1007/s11104-023-06156-7.

5. Grigor'yev A. A., Avdeenko A. A. Determining the growth-stimulating preparation “Humat +7” effect on the grafted grape seedlings’ yield, survival rate and quality. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021; 9 (174): 79–85. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-9-79-85. (In Russ.)

6. El-Beltagi H. S., Al-Otaibi H. H., Parmar A., Ramadan K. M. A., Lobato A. K. D. S., El-Mogy M. M. Application of Potassium Humate and Salicylic Acid to Mitigate Salinity Stress of Common Bean. *Life (Basel)*. 2023; 5 (13): 448. DOI: 10.3390/life13020448.

7. Ratnikov A. N., Petrov K. V., Ivankin N. G., Suslov A. A., Sviridenko D. G., Yatsenko V. V. Effect of new organic and mineral preparation ‘Gumiton’ on productivity and grain quality of winter wheat. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019; 4 (20): 86–95. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-86-95 (In Russ.)

8. Lupova E. I., Vinogradov D. V. Influence of humic fertilizer and mineral Fertilizers doses on the productivity of spring rape. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 3 (84): 31–37. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.31. (In Russ.)

9. Dem'yanova N. I., Gordeeva N. N. Study of the influence of Lignohumate on the formation of soybean yield. *Mezhdunarodnyy Studencheskiy Nauchnyy Vestnik*. 2018; 2: 127. (In Russ.)

10. Eliseeva L. V., Kayukova O. V., Filippova S. V. Formation of the stem of grain legumes under the influence of plant growth regulators. *The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas: collection of the IV All-Russian (national) scientific conference*. Novosibirsk: ITs NGAU “Zolotoy Kolos”, 2019. Pp. 23–25. (In Russ.)

11. Eliseeva L. V., Eliseev I. P., Kalgina A. V. Efficiency of using potassium lignohumate when cultivating lentils. *Innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University, 2018. Pp. 155–157. (In Russ.)

12. Tyutyunnikova E. M., Plotnikova T. V. Experience in using Lignohumate fertilizer (AM potassium brand) in tobacco growing. Biologically active preparations for crop production. *Scientific justification – recommendations – practical results: materials of the XVI international scientific and practical conference*. Minsk: Belorussia State University, 2018. Pp. 192–193. (In Russ.)

13. Reut A. A., Allayarova I. N., Biglova A. R. Influence of a growth stimulator on the biological and morphological parameters of perennial herbaceous plants. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 6: 87–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97. (In Russ.)
14. Kokhan S. K. Effectiveness of using the complex preparation Lignohumate on agricultural crops. *Humic substances in the biosphere: materials of the VII All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor D. S. Orlov and the III International Scientific School*. Moscow: OOO “MAKS Press”, 2018. P. 121. (In Russ.)
15. Reut A. A., Beksheneva L. F. Toxicants of hazard class 1 in ornamental herbaceous perennials. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022; 1 (29): 132–144. (In Russ.)
16. Khrynova T. R., Khrynova A. N., Shirokov A. I., Mishykova I. V. Rare species of Altai flora in the Botanical Garden of UNN. *Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2020; 19 (1): 302–306. DOI: 10.14258/pbssm.2020060 (In Russ.)
17. *Red Data Book of the Republic of Bashkortostan. Plants and fungi* / Under the editorship of V. B. Martynenko Moscow: Studiya onlayn, 2021. Vol. 1. 392 p. (In Russ.)
18. Beksheneva L. F., Reut A. A. Features of the water regime of aboriginal and introduced species of the genus *Iris* L. in the Southern Ural. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 7: 2–15. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-210-07-2-15 (In Russ.)
19. Koval' E. V., Ogorodnikova S. Yu. Investigation of the influence of cyanobacteria and lignohumate on the life of barley plants. *Eurasian Soil Science*. 2021; 6: 65–72. DOI: 10.31857/S0002188121030108 (In Russian.)

Authors' information:

Liliya F. Beksheneva, junior researcher, laboratory of floriculture and selection, South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-2506-4559, AuthorID 1039806. *E-mail: linden07@yandex.ru*

Antonina A. Reut, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of floriculture and selection, South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318. *E-mail: cvetok.79@mail.ru*

Использование фитокомпозиции в пчеловодстве как экологический прием стимуляции жизнедеятельности и иммунного статуса медоносных пчел

М. И. Васильева[✉], С. Л. Воробьева, С. И. Коконов

Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

[✉]E-mail: marinaroshya@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – определить влияние фитокомпозиции с антиокислительными свойствами на хозяйственно полезные показатели пчел среднерусской породы. **Методы исследований.** Научно-производственный опыт проводился в условиях стационарной пасеки Малопургинского района Удмуртской Республики. Объектом исследования стали медоносные пчелы среднерусской породы. Экспериментальные испытания по применению фитопрепарата проводились на основании общепринятых в пчеловодстве зоотехнических методов. **Научная новизна.** В природно-климатических условиях Удмуртской Республики на стационарной пасеке впервые были проведены исследования по испытанию биопрепарата в составе углеводной подкормки на пчелах среднерусской породы и определена его эффективность применения. Стимулирующая жидкая кормовая добавка для пчел разработана на основе эталонного нерастворимого в воде антиоксиданта дигидрохверцетина, полисахарида арабиногалактана и отвара шиповника. Биодоступность дигидрохверцетина достигается за счет его экстракции с последующим выпариванием спирта и смешением с арабиногалактаном – хорошим доставщиком труднорастворимых молекул. Положительное действие антиоксидантного препарата на биосистему пчел усиливается нутриентами шиповника. **Результаты.** Опытная группа, получавшая органическую добавку, превосходила по интенсивности яйцекладки матки контрольную группу в среднем на 27,6 % (1194 шт. яиц). Отставание в развитии семей контрольной группы отразилось на медовой продуктивности: количество валового сбора меда составило 29,0 кг, что ниже аналогичной величины опытных семей на 38,6 %. Цветочный мед, полученный в опытной группе, отличался высокой ферментативной активностью и более высоким содержанием инвертных сахаров в виде фруктозы и глюкозы: 10,65 ед. Готе и 96,28 % соответственно против контрольных величин 8,30 ед. Готе и 78,10 %. По размеру полученной прибыли от реализации продукции опытная группа превосходила контрольные семьи на 3507 руб., что отразилось и на эффективности производства: уровень рентабельности составил 37,7 % против контрольных 0,65 %. Таким образом, весеннее скармливание пчелам обогащенной биокомпозицией подкормки способствовало достижению к главному медосбору биологического оптимума в силе семей, что отразилось на их продуктивности.

Ключевые слова: медоносная пчела, экологическая безопасность, подкормка, фитопрепарат, дигидрохверцетин, арабиногалактан, отвар шиповника, антиоксиданты, биодоступность, яйценоскость, сила семьи, медовая продуктивность, диастаза

Для цитирования: Васильева М. И., Воробьева С. Л., Коконов С. И. Использование фитокомпозиции в пчеловодстве как экологический прием стимуляции жизнедеятельности и иммунного статуса медоносных пчел // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 661–669. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-661-669>.

Дата поступления статьи: 28.12.2023, **дата рецензирования:** 19.02.2024, **дата принятия:** 18.03.2024.

The use of phytocomposition in beekeeping as an ecological method for stimulating the vital activity and immune status of honey bees

M. I. Vasilyeva[✉], S. L. Vorobyeva, S. I. Kokonov
Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia
[✉]E-mail: marinaroshya@gmail.com

Abstract. The purpose is to determine the influence of a phytocomposition with antioxidant properties on the economically useful indicators of bees of the Central Russian breed. **Methods of the research.** The scientific and production experiment was carried out in a stationary apiary in the Malopurginskiy district of the Udmurt Republic. The object of the study was honey bees of the Central Russian breed. Experimental tests on the use of the herbal medicine were carried out on the basis of generally accepted zootechnical methods in beekeeping. **The scientific novelty.** In the natural and climatic conditions of the Udmurt Republic, in a stationary apiary, for the first time, studies were carried out to test a biological product as part of a carbohydrate supplement on bees of the Central Russian breed and its effectiveness of use was determined. A stimulating liquid feed additive for bees is developed on the basis of a standard water-insoluble antioxidant dihydroquercetin, a polysaccharide arabinogalactan and rosehip decoction. The bioavailability of dihydroquercetin is achieved through its extraction, followed by evaporation of the alcohol and mixing with arabinogalactan, a good deliverer of sparingly soluble molecules. The positive effect of the antioxidant drug on the bee biosystem is enhanced by rosehip nutrients. **Results.** The experimental group that received the organic supplement exceeded the control group in terms of egg-laying intensity by an average of 27.6 % (1194 eggs). The lag in the development of families in the control group was reflected in honey productivity: the amount of gross honey harvest was 29.0 kg, which is 38.6 % lower than the same value for experienced families. Flower honey obtained in the experimental group was distinguished by high enzymatic activity and a higher content of invert sugars in the form of fructose and glucose: 10.65 units. Gothe and 96.28 %, respectively, against the control values of 8.30 Gothe units and 78.10 %. In terms of the amount of profit received from the sale of products, the experimental group exceeded the control families by 3.507 rubles, which also affected production efficiency: the profitability level was 37.7 % against the control families – 0.65 %. Thus, the spring feeding of bees with a supplement enriched with a biocomposition contributed to the achievement of a biological optimum in the strength of the colonies before the main honey harvest, which affected their productivity.

Keywords: honey bee, environmental safety, fertilizing, herbal medicine, dihydroquercetin, arabinogalactan, rosehip decoction, antioxidants, bioavailability, egg production, family strength, honey productivity, diastase

For citation: Vasilyeva M. I., Vorobyeva S. L., Kokonov S. I. The use of phytocomposition in beekeeping as an ecological method for stimulating the vital activity and immune status of honey bees. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 661–669. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-661-669>. (In Russ.)

Date of paper submission: 28.12.2023, **date of review:** 19.02.2024, **date of acceptance:** 18.03.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Роль медоносной пчелы как индикатора благополучия экологии остается неопределимой. Насекомые, опыляя энтомофильные растения, плодовые деревья и культуры сельскохозяйственных угодий, способствуют не только повышению их урожайности и улучшению качественных показателей, но и формированию флоры земли в целом – условий существования для биосистемы и поддержания кислородного баланса в атмосфере [1–3].

Однако на протяжении последних десятилетий ученые мира фиксируют сокращение популяций *Apis mellifera* m. на фоне участвующих необъяснимых осенних слетов и ослабленного иммунного механизма, развиваемого в критических условиях

существования: распространение инфекционных и инвазионных болезней; сокращение естественной площади для нектаро- и пыльцесобирающей деятельности, ограниченной традиционным способом обеспечить семью медово-перговой кашицей; плановая обработка пестицидами значительно расширяющихся рапсовых полей; сбор «опьяняющего» нектара, аномально разлагающегося под влиянием индустриальных выбросов в атмосферу; замена углеводного корма (меда) сахарным сиропом, приводящим к обеднению организма пчел белковыми веществами и сокращению продолжительности их жизни. Только сильная семья способна превосходно переносить критические периоды онтогенеза: зимовку – длительный безоблетный период, ран-

ную весну – отсутствие в природе свежего нектара в условиях резких перепадов температур воздуха и неконтролируемые медикаментозные приемы профилактики и лечения пчел от ряда заболеваний. Данное обстоятельство обусловлено не только численностью семей, но и формированием единого защитного механизма семьи [4–8].

Для поддержания защитных механизмов, которые пчелы утрачивают в ходе преодоления «химических» и природно-климатических барьеров под атакой возбудителей болезней, недостаточно только кормовых источников в виде углеводов. В целях повышения иммунного статуса пчелиных семей, активизации их био- и физиологических процессов жизнедеятельности, определяющих исход зимовки и уровень медовой продуктивности, а также для получения экологически чистых продуктов ведущие специалисты отрасли рекомендуют использовать стимулирующие подкормки на базе природных источников – биологически активных веществ, которые оказывают целенаправленное физиологическое или терапевтическое воздействие в зависимости от их дозировки. Подходы к сохранению пчел без применения антибиотиков нашли отражение в Федеральном законе «О биологической безопасности в Российской Федерации». Исследования, проводимые в пчеловодстве, выявляют разную степень усвояемости добавок из органических соединений, их способность запускать биокатализаторы организма, поэтому не всегда достигается эффект «невосприимчивости» пчел к неблагоприятным факторам среды. Своевременное и правильное применение оздоравливающих подкормок для профилактики и лечения заболеваний пчел – залог сохранения здоровья пчел и получения от них безопасной продукции в оптимальных количествах [9–13].

К экологическим приемам, направленным на сохранение пчелиных семей, можно отнести разработанную кормовую добавку на основе дигидрокверцетина (ДГК), арабиногалактана (АГ) и нутриентов шиповника. Антиоксиданты с действующими компонентами шиповника, такими как пектиновые и дубильные вещества, органические кислоты, витамины (С, провитамин А, В2, Р) и минералы (соли Са, Fe, Mn, Р, Mg), обладают широким спектром действия, что обусловлено проявлением явления синергизма – потенцирования [14].

В связи с этим целью проведения исследований стало определение влияния фитокомпозиционного препарата на хозяйственно полезные показатели пчел среднерусской породы.

В задачи исследований входило:

1. Установить влияние фитодобавки с антиоксидантным проявлением на динамику роста и развития пчелиных семей.
2. Оценить медовую продуктивность и качественный состав меда.
3. Рассчитать экономическую эффективность проведенных исследований.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования по испытанию антиоксидантного фитопрепарата проводились на стационарной пасеке Малопургинского района Удмуртской Республики на медоносных пчелах среднерусской породы в 2019–2020 гг. В первую декаду мая, во время первой ревизии, были разбиты 2 группы пчелиных семей (контроль и опыт), в каждую включили по 10 пчелиных семей. При подборе аналогичных семей учитывали такие показатели, как возраст матки, сила семьи, количество печатного расплода и запаса кормового меда, а также конструкция улей. Подкормку для пчел проводили 2 раза с интервалом в 12 дней: контрольная группа получала сахарный сироп (1 : 1), опытную группу отличало получение обогащенной фитопрепаратом углеводной подкормки.

Количество природных биорегуляторов при разработке препарата рассчитывали на 1 пчелиную семью для внесения в состав 1 л сахарного сиропа (1 : 1): ДГК – 15 мг, АГ – в соотношении 10 : 1 по весу к ДГК, нутриенты шиповника в виде отвара, полученного термостатированием при $t = 80$ °С в течение 4 часов, в объеме 40 мл.

Спектр применения эталонного антиоксиданта дигидрокверцетина (таксифолин, биофлавоноид) достаточно широк: в фармацевтической промышленности – для производства БАД и лекарственных средств, в пищевой промышленности – в качестве консерванта-антиокислителя. Высокая биологическая активность биофлавоноида (а именно снижение чувствительности организма к стрессовым факторам, усиление обменных реакций) определена и в отрасли животноводства в получении мяса с нормальным ходом автолиза. ДГК, извлекаемый из комлевой части коры ливственницы, безопасен, в малых концентрациях проявляет высокое противорадикальное действие, обладает достаточной механической и термической устойчивостью, при этом характеризуется низкой растворимостью в водных растворах, что существенно снижает его биодоступность и эффективность применения [15–16].

Арабиногалактан, родственник по источнику получения дигидрокверцетину, представляет собой лиственничный полисахарид, проявляющий ряд позитивных эффектов: гепато- и гастропротекторный. Биологически активная добавка представляет собой пребиотик; вещество с мембранотропными свойствами, улучшающее всасываемость малорастворимых молекул; энтеросорбент, способный к выведению токсичных веществ из организма. В пищевой индустрии нашел применение как стабилизатор, антиокислитель, источник жизненно необходимых для организма человека пищевых волокон и клетчатки. Научно доказано в фармакологии и пищевой промышленности, что природный полисахарид способен значительно повысить усвояемость дигидрокверцетина. Оба антиоксиданта обладают многогранной биологической активностью [16; 17].

Таблица 1

Динамика пчелиного расплода в весенне-летний период, сотен ячеек

Замер	Контрольная группа, сотен ячеек	Опытная группа, сотен ячеек
1	168,7 ± 3,89	166,5 ± 4,7
2	185,0 ± 12,1	243,7 ± 10,13
3	236,6 ± 10,71	343,2 ± 8,95

Table 1

Dynamics of bee brood in the spring-summer period, hundreds of cells

Measurement	Control group, hundreds of cells	Experienced group, hundreds of cells
1	168.7 ± 3.89	166.5 ± 4.7
2	185.0 ± 12.1	243.7 ± 10.13
3	236.6 ± 10.71	343.2 ± 8.95

Биология и биотехнологии

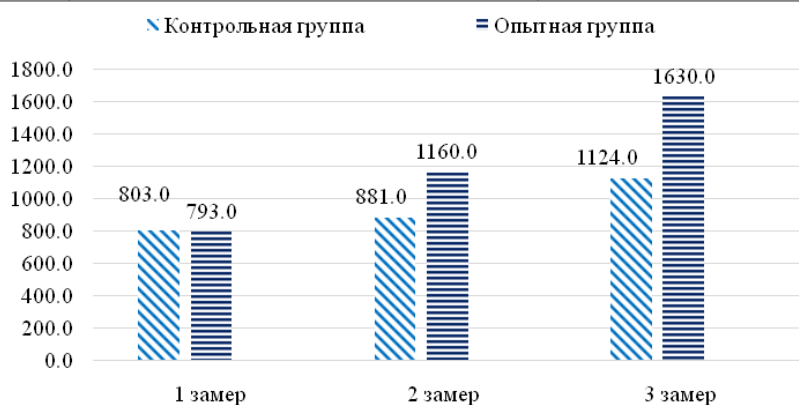


Рис. 1. Динамика яйценоскости пчелиных маток, яиц/сут

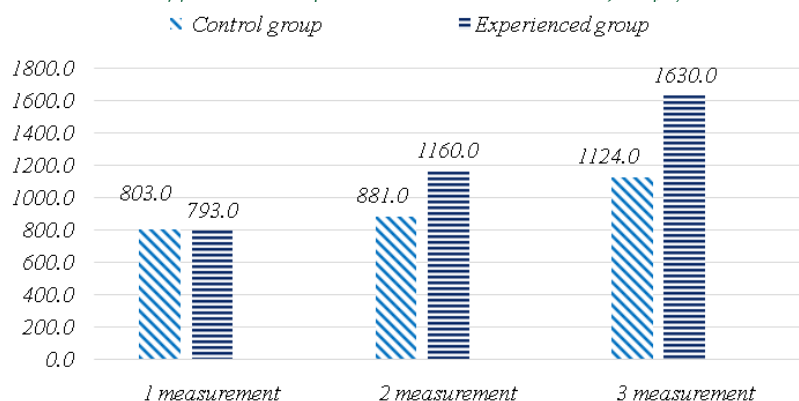


Fig. 1. Dynamics of egg production of queen bees, eggs/day

Целесообразность применения плодов шиповника объясняется совокупным эффектом входящих в него поливитаминных соединений.

Экспериментальные опыты проводились согласно общепринятым методам проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве.

Развитие и силу опытных семей определяли по величине яйценоскости маток, которая учитывается с интервалом в 12 дней по количеству запечатанного расплода с помощью рамки-сетки (квадрат 5 × 5 см включает 100 ячеек пчелиного расплода).

Медовая продуктивность учитывалась по валовому сбору меда, определяемого взвешиванием на весах откачанного (товарного) и оставленного на зимовку в гнезде меда (кормового), с учетом страхового запаса в размере 5 кг на семью.

Качественный состав и свойства меда оценивали в лаборатории «Переработка продукции животноводства» в Ижевской ГСХА: консистенцию и вкус меда определяли в соответствии с ГОСТ 19792-2017; цветность меда устанавливали по цветовой шкале Пфунда согласно ГОСТ 31771-2012; массовую долю влаги определяли с применением прибора рефрактометр ИРФ-454 по ГОСТ 31774-2012; содержание определяющих качество меда инвертированных сахаров, наличие энзимов животного происхождения – на приоре фотоэлектроколориметре согласно ГОСТ 32167-2013 и ГОСТ 34232-2017 соответственно; общую кислотность меда – титрованием в присутствии индикатора фенолфталеин в соответствии с ГОСТ 19792-2017. Ботаническое происхождение меда идентифицировали в резуль-

тате микроскопического исследования и подсчета пыльцевых зерен по ГОСТ 31769-2022.

Экономическую оценку проведенных исследований по обработке медоносных пчел биопрепаратом провели согласно рекомендациям И. А. Минакова¹ и А. К. Субаевой².

Полученные экспериментальные данные подвергли статистической обработке методами вариационной статистики по методу Н. А. Плохинского³ и Е. К. Меркурьевой⁴ с применением программ MS Office.

Результаты (Results)

Обеспечение пчелиного расплода ростовыми веществами в послезимний период – одна из решающих задач в жизнедеятельности семьи. В это время должна выполняться секреция глоточных желез у пчел для кормления личинок на ранней стадии развития и приготовления углеводно-белкового корма – для личинок старшего возраста.

В первые экспериментальные сроки использование препарата на репродуктивные показатели маток в опытных группах существенных различий не дало (таблица 1). В среднем показатели пчелиных семей всех исследуемых групп были на уровне 166,5–168,7 сотни ячеек, после второго замера динамика пчелиного расплода показала стимулирующее действие фитопрепарата на интенсивность откладки яиц маткой. Так, ко второму измерению яйценоскость маток опытных семей составила 243,7 сотни ячеек, что больше на 58,7 сотни ячеек, или на 31,7 %, чем в контрольной группе. Аналогичная динамика роста сохраняется и к третьему измерению: контрольные семьи, лишенные бионутриентов, уступали в развитии на 45,1 %.

Исследования яйценоскости маток позволили выявить, что в первый замер в контрольных семьях, где рабочие особи получали только углеводную подкормку, среднесуточная яйценоскость составила 803 яиц/сут (рис. 1). При первом учете разница по яйценоскости между контрольной и опытной группами была не столь ощутимой. Начиная со второго замера матки в семьях, получавших полифункциональный антиокислительный препарат, увеличили яйценоскость до 1160 шт., матки контрольных семей по аналогичной величине отставали от опытных групп в 1,32 раза. Максимальный пик яйценоскости маток отмечается в опытных группах во время третьего замера.

Средняя яйценоскость маток контрольной группы составила 936 шт., что ниже показателей маток опытной группы в 1,28 раза (1194 шт.).

Подтверждением позитивно корригирующего действия фитопрепарата на качественный и количественный состав пчелиных семей опытной группы является более быстрое пополнение зимовальных особей молодыми весеннего вывода, что в дальнейшем отразилось и на показателе «сила семей».

Главной оценкой хозяйственной и племенной ценности пчел является медовая продуктивность (таблица 2). Она определяется количеством отобранного (товарного) и оставшегося на зиму меда (кормового). При этом многокомпонентный состав и свойства меда, синтезируемые в процессе ферментативной переработки нектара, в первую очередь зависят от силы и иммунитета пчелиных семей, немаловажную роль в этом играют и климатические условия.

Условия для сбора нектара и пыльцы в 2019 году значительно отличались от прошлых летних сезонов. Весной были отмечены нестабильные перепады температур, которые сопровождалась осадками в виде дождя и мокрого снега: в первой половине мая наблюдалась аномальная жара (до +32,2 °С), во второй половине арктический воздух обеспечил наступление холодной погоды (средние значения минимальных $t = +6...+8$ °С), что сдерживало рост и развитие семей, в результате к периоду главного медосбора не все семьи успели нарастить силу. В мае средняя температура воздуха в дневное время составила +18...+20 °С. В июне в дневное время также отмечались колебания температур воздуха: от +14 до +30 °С (средняя дневная $t = +21$ °С); в июле температурный фон был ниже месячной нормы на 1,5–2,0 °С (средняя дневная $t = +18$ °С), а количество выпавших осадков – выше, от 115 до 180 %. В этих условиях в течение короткого периода медосбора лидерство по сбору нектара сохранили пчелы опытной группы (таблица 2).

При проведении исследований следует отметить, что в опытных группах, где применялся фитопрепарат, количество товарного меда было получено больше на 11,3 кг, или в 2,4 раза, валового меда – больше на 11,2 кг, или в 1,4 раза.

Использование органической подкормки на основе дигидрокверцетина, арабиногалактана и действующих элементов шиповника позволяет к главному медосбору увеличить численность рабочих особей в семье за счет формирования благоприятных условий для интенсивной откладки яиц маткой, сформировать функционально подготовленный «суперорганизм», снижая его чувствительность к разрушительным атакам из внешней среды, что в итоге отражается на сборе и переработке нектара. В составе биопрепарата арабиногалактан, самостоятельно проявляющий иммуномодулирующий и противовирусный эффекты, обеспечивает доставку ДГК к клеткам, наделяя его пролонгированным характером действия, а совместно с витамином С – доминирующим компонентом шиповника – антиокислительное проявление препарата усиливается на клеточном уровне путем нейтрализации избыточных свободных радикалов.

1 Экономика отраслей АПК / Под ред. И. А. Минакова. М.: КолосС, 2004. 276 с.

2 Субаева А. К. Повышение экономической эффективности производства продукции пчеловодства. Ульяновск: Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина, 2012. 182 с.

3 Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Издательство Московского университета, 1970. 464 с.

4 Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М: Колос, 1970. 424 с.

Таблица 2

Количество товарного и валового меда, полученного из расчета на одну пчелиную семью

Группа	Товарный мед, кг	Кормовой мед, кг	Валовый мед, кг
Контрольная	8,2 ± 0,89	20,8 ± 0,91	29,0 ± 1,43
Опытная	19,5 ± 1,10	20,7 ± 1,60	40,2 ± 1,20

Table 2

The amount of commercial and gross honey obtained per bee colony

Group	Commercial honey, kg	Fodder honey, kg	Gross honey, kg
Control	8.2 ± 0.89	20.8 ± 0.91	29.0 ± 1.43
Experienced	19.5 ± 1.10	20.7 ± 1.60	40.2 ± 1.20

Таблица 3

Физико-химические показатели исследуемых образцов меда

Показатель	ГОСТ 19792-2017	Контрольный образец	Опытный образец
Массовая доля влаги, %	Не более: 20	19,70 ± 0,14	19,36 ± 0,64
Массовая доля редуцирующих сахаров, %	Не менее: 65	78,10 ± 2,36	96,28 ± 1,67
Диастазное число, ед. Готе	Не менее: 8	8,30 ± 0,24	10,65 ± 1,67
Общая кислотность, см ³	По ветеринарно-санитарным требованиям: 1–4	1,89 ± 2,56	2,31 ± 2,54

Table 3

Physical and chemical parameters of the studied samples of honey

Indicator	GOST 19792-2017	Control sample	Experienced sample
Moisture, %	Not more: 20	19.70 ± 0.14	19.36 ± 0.64
Reducing sugars, %	Not less: 65	78.10 ± 2.36	96.28 ± 1.67
Diastase number, units Gothe	Not less: 8	8.30 ± 0.24	10.65 ± 1.67
Total acidity, cm ³	According to veterinary and sanitary requirements: 1–4	1.89 ± 2.56	2.31 ± 2.54

Таблица 4

Экономическая эффективность проведенных исследований

Показатель	Группа пчелиных семей	
	Контрольная	Опытная
Объем производства, условных медовых единиц на 1 пчелиную семью	9,8	20,8
Себестоимость 1 условной медовой ед., руб.	488,0	232,0
Себестоимость товарного меда 1 пчелиной семьи, руб.	4783,8	4825,0
Цена реализации 1 условной медовой ед., руб.	320,0	320,0
Прибыль (+) убыток (-) на 1 условную медовую ед., руб.	-168	88,0
Прибыль всего, руб.	3136,0	6643,0
Уровень рентабельности, %	0,65	37,7

Table 4

Economic efficiency of the research carried out

Indicator	Group of bee colonies	
	Control	Experienced
Production volume, conditional honey units per 1 bee colony	9.8	20.8
Cost of 1 conditional honey unit, rub.	488.0	232.0
The cost of commercial honey 1 bee colony, rub.	4783.8	4825.0
The cost of commercial honey 1 bee colony, rub.	320.0	320.0
Profit (+) loss (-) per 1 conditional honey unit, rub.	-168.0	88.0
Total profit, rub.	3136.0	6643.0
Profitability level, %	0.65	37.7

Органолептическая оценка контрольных и опытных образцов меда по вкусу, аромату, консистенции не выявила отклонений от требований, установленных в нормативно-технической документации. Контрольный и опытный образцы меда имели светло-янтарный цвет, приятный тонкий аромат с наличием легкой горчинки в послевкуссии. Консистенция свежееоткачанных медов была жидкая, после кристаллизации редуцирующих сахаров – мелкозернистая, с размером кристаллов не более 0,5 мм.

Результаты биохимического превращения нектара в мед выгодно отличают опытные семьи от контрольных по таким показателям, как ферментативная активность и общая кислотность (таблица 3).

Ферментативная активность меда – важный критерий его качества и натуральности: в контрольном образце диастазное число было получено на уровне 8,30 ед. Готе, в образце опытной группы превосходство по активности инвертазы составило 28,30 %, что свидетельствует о более высокой жизненной силе семьи.

Высокое значение ферментов в опытном образце меда, в свою очередь, определяет накопление инвертированных сахаров и глюконовой кислоты, последняя обусловила общую кислотность продукта: показатели были выше на 18,18 % и 22,2 % соответственно по сравнению с аналогичными контрольными величинами. В контрольном образце содержание редуцирующих сахаров составило 78,10 %, общая кислотность была на уровне 1,89 см³. Кислотность меда при этом участвует в формировании аромата меда и неблагоприятной среды для развития диких рас дрожжей.

Массовая доля воды, позволяющая судить о степени зрелости меда и способности его к хранению, в исследуемых образцах не превышала нормируемого значения и находилась на уровне 19,36–19,70 %.

Весеннее обогащение углеводной подкормки фитопрепаратом с антиоксидантным проявлением в дальнейшем позволило получить мед с более высокой биологической ценностью.

Основные пыльцевые зерна, которые являются незаменимым источником белка для выращивания качественного расплода, присутствовали в составе исследуемых образцов меда в количестве 3,1–24,3 %. Микроскопический анализ пыльцевых зерен меда показал, что нектар был собран в контрольной и опытной группах с таких медоносов, как эспарцет (3,1 %), кипрей (5,2 %), донник (9,8 %), липа (17,2 %) и фацелия (24,3 %), что позволяет его идентифицировать как полифлорный.

Для оценки экономической эффективности проведенных исследований учитывали все статьи затрат, связанные с разведением пчелиных семей и получением валовой пчеловодческой продукции, в опытной группе дополнительно рассчитывали себестоимость фитокомпозиции. Для проведения опытов во всех анализируемых семьях использовали маток, выведенных в условиях пасеки (таблица 4).

Для расчета рентабельности пасеки применяют переводные коэффициенты продукции пчеловодства в условный мед (УМ): 1 кг меда – 1 условная единица; 1 кг воска – 2 условные единицы. Принятая система позволяет выявить рентабельность производства продукции в отдельности.

Сравнение экономических параметров разных групп показало, что больший объем производства на 1 пчелиную семью приходится на опытную групп, разница с контрольной группой составила 11 условных медовых единиц. При цене реализации 1 условной медовой единицы в 320 руб. размер прибыли, полученный от реализации продукции опытной группы, составил 6643 руб., что в 2,12 раза больше по сравнению с контрольной группой. Уровень рентабельности в опытной группе достиг 37,7 %, в то время как в контрольной из-за маленького объема производства продукции на 1 пчелиную семью рентабельность составила 0,65 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведение профилактической обработки пчел в весенний период фитопрепаратом оказало протекторное воздействие в целом на семью как на целостную систему на клеточном уровне, что отразилось на хозяйственно полезных признаках пчелиных семей.

В контрольных семьях средняя яйценоскость маток составила 936 шт., что ниже показателя маток опытных семей, получавших фитопрепарат, на 27,6 %. По сбору валового меда лидировала опытная группа: всего собрано 40,2 кг, что больше, чем в семьях контрольной группы, на 11,2 кг (38,6 %). Превосходство опытной группы по объему производства продукции отразилось на экономических показателях пасеки: уровень рентабельности при размере прибыли 6643 руб. составил 37,7 %, в контрольной группе рентабельность была равна 0,65 %.

Высокая эффективность кормовой добавки заключается в том, что антиоксиданты в растворе быстрее вступают в реакции, в отличие от ферментативных антиоксидантов для них не характерна строго определенная органная и клеточная локализация.

Библиографический список

1. Кулаков В. Н. Учет продолжительности зимовки пчел при оценке значимости субъектов Российской Федерации для пчеловодства // *Аграрная наука*. 2020. № 5. С. 91–95. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-91-95.
2. Пашаян С. А., Сидорова К. А., Юрина Т. А. Некоторые вопросы повышения жизнестойкости пчел в условиях техногенеза // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 3 (168). С. 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-88-92.

3. Федорова А. С., Воробьева С. Л., Васильева М. И. Стимулирующая протеинсодержащая подкормка и ее эффективность в пчеловодстве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (97). С. 245–250.
4. Домацкий А. Н., Домацкая Т. Ф. Распространение аскофероза пчел на пасеках Российской Федерации // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6 (183). С. 105–111. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-105-111.
5. Vorobieva S. L., Mikheeva E. A., Shishkin A. V., Sterkhova D. O., Mushtaleva E. D. The spread of bee diseases in the Udmurt Republic depending on territorial characteristics and climatic conditions // Journal of Entomological Research. 2021. Vol. 45. Pp. 996–1003. DOI: 10.5958/0974-4576.2021.00158.4.
6. Щербаков П. Н., Щербакова Т. Б., Абдыраманова Т. Д., Журавель Н. А., Степанова К. В. Терапевтическая эффективность препаратов, применяемых для лечения варроатоза пчел // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (207). С. 74–79. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-207-1-74-79.
7. Tuktarov V., Valitov F., Schelechov D., Farkhutdinov R., Yumaguzhin F. Effect of plant extract preparations on microbial number and species composition of the honey bee intestinal microbiocenosis throughout the overwintering period // Advances in Animal and Veterinary Sciences. 2022. Vol. 10, No. 1. Pp. 203–211. DOI: 10.17582/JOURNAL.AAVS/2022/10.1.203.211.
8. Kulakov V. N., Brandorf V. N. Biological Resources of Entomophilous Plants and Melliferous Bees in Russia // Systematic Reviews in Pharmacy. 2021. Vol. 12, No. 1. Pp. 539–544. DOI: 10.31838/srp.2021.1.77.
9. Магомедов М. Ш., Маннапов А. Г., Храпова С. Н., Кутлин Ю. Н. Влияние сборки гнезда с трутневыми сотами и стимулирующих подкормок на зимостойкость пчелиных семей // Пчеловодство. 2023. № 8. С. 6–8.
10. Маннапов А. Г., Кричевцова А. Н., Кутлин Ю. Н. Биологические показатели пчелиных семей на фоне стимулирующих подкормок // Главный зоотехник. 2021. № 11 (220). С. 53–65. DOI: 10.33920/sel-03-2111-06.
11. Zalilova Z. A., Mannapov A. G., Lukyanova M. T., Kovshov V. A. Strategies of Regional Economic and Sustainable Development: The Case of the Beekeeping Industry // In: Bogoviz A. (ed.) The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205, No. 1. Pp. 855–862. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_95.
12. Туктаров В. Р., Ильясова З. З., Манурова Э. Р. Применение растительных средств борьбы при бактериальной инфекции личинок пчел // Аграрный вестник Приморья. 2021. № 2 (22). С. 44–46.
13. Ярошевич Г. С., Мазина Г. С., Кузьмин А. А. Влияние биологически активных веществ на увеличение продолжительности жизни и физиологическое состояние пчел // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 33–40.
14. Туктаров В. Р., Андреева А. В., Ильясова З. З. Применение водных экстрактов и спиртовых настоек растительного происхождения в пчеловодстве // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2022. Т. 249, № 1. С. 214–217. DOI: 10.31588/2413_4201_1883_1_249_214.
15. Углов В. А., Бородай Е. В. Роль арабиногалактана и дигидрокверцетина в лечении сельскохозяйственных животных по данным патентных исследований // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 1 (35). С. 103–107.
16. Сайед А. А., Воробьев А. Н., Сеницына Н. И., Абрамович Р. А., Потанина О. Г. Применение арабиногалактана при разработке таблеток с дигидрокверцетином // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2022. Т. 24, № 5. С. 128–136. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-5-128-136.
17. Еськов Е. К., Роженов А. С., Шестакова Е. В., Фомичев Ю. П., Мазина Г. С., Ярошевич Г. С. Эффективность арабиногалактана при нозематозе // Пчеловодство. 2022. № 2. С. 24–27.

Об авторах:

Марина Ивановна Васильева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии переработки продукции животноводства, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0002-1778-9808, AuthorID 753708. *E-mail: marinaroshya@gmail.com*

Светлана Леонидовна Воробьева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. *E-mail: vorobievasveta@mail.ru*

Сергей Иванович Коконев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, земледелия и селекции, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-7201-3909, AuthorID 347100. *E-mail: nir@udsau.ru*

References

1. Kulakov V. N. Evaluating the influence of the duration of the winter period for bees when assessing the significance of the regions of the Russian Federation for beekeeping. *Agrarian Science*. 2020; 5: 91–95. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-91-95. (In Russ.)

2. Pashayan S. A., Sidorova K. A., Yurina T. A. Optimization of viability indicators of bees under technogenesis conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021; 3 (168): 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-3-88-92. (In Russ.)
3. Fedorova A. S., Vorobyeva S. L., Vasilyeva M. I. Stimulating protein-containing top dressing and its effectiveness in beekeeping. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; 5 (97): 245–250. (In Russ.)
4. Domatskiy A. N., Domatskaya T. F. Bees ascospheiosis spread in the Russian Federation apiaries. *The Bulletin of KrasGAU*. 2022; 6 (183): 105–111. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-105-111. (In Russ.)
5. Vorobieva S. L., Mikheeva E. A., Shishkin A. V., Sterkhova D. O., Mushtaleva E. D. The spread of bee diseases in the Udmurt Republic depending on territorial characteristics and climatic conditions. *Journal of Entomological Research*. 2021; 45: 996–1003. DOI: 10.5958/0974-4576.2021.00158.4.
6. Shcherbakov P. N., Shcherbakova T. B., Abdryamanova T. D., Zhuravel N. A., Stepanova K. V. Therapeutic efficacy of drugs used to treat varroosis of honey bees. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022; 1 (207): 74–79. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-207-1-74-79. (In Russ.)
7. Tuktarov V., Valitov F., Schelechov D., Farkhutdinov R., Yumaguzhin F. Effect of plant extract preparations on microbial number and species composition of the honey bee intestinal microbiocenosis throughout the overwintering period. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2022; 10 (1): 203–211. DOI: 10.17582/JOURNAL.AAVS/2022/10.1.203.211.
8. Kulakov V. N., Brandorf V. N. Biological Resources of Entomophilous Plants and Melliferous Bees in Russia. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2021; 12 (1): 539–544. DOI: 10.31838/srp.2021.1.77.
9. Magomedov M. Sh., Mannapov A. G., Khrapova S. N., Kutlin Yu. N. The influence of nest assembling with drone combs and stimulative feeding on the winter hardiness. *Beekeeping*. 2023; 8 (6–8). (In Russ.)
10. Mannapov A. G., Krichevtsova A. N., Kutlin Yu. N. Biological indicators of bee families against the background of stimulating additives. *Head of Animal Breeding*. 2021; 11 (220): 53–65. DOI: 10.33920/sel-03-2111-06. (In Russ.)
11. Zalilova Z. A., Mannapov A. G., Lukyanova M. T., Kovshov V. A. Strategies of Regional Economic and Sustainable Development: The Case of the Beekeeping Industry. In: *Bogoviz A. (ed.) The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems*. Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205, No. 1. Pp. 855–862. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_95.
12. Tuktarov V. R., Ilyasova Z. Z., Manurova E. R. The application of herbal means of control in bacterial infection of bees larvae. *Agrarian Bulletin of Primorye*. 2021; 2 (22): 44–46. (In Russ.)
13. Yaroshevich G. S., Mazina G. S., Kuzmin A. A. Influence of biologically active substances on increasing lifespan and physiological state of bees. *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2019; 2: 33–40. (In Russ.)
14. Tuktarov V. R., Andreeva A. V., Ilyasova Z. Z. Application of water extracts and alcoholic tinks of vegetable origin in beekeeping. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2022; 249 (1): 214–217. DOI: 10.31588/2413_4201_1883_1_249_214. (In Russ.)
15. Uglov V. A., Boroday E. V. The role of arabinogalactan and dihydroquercetin in the treatment of farm animals based on patent research. *Innovations and Food Safety*. 2022; 1 (35): 103–107. (In Russ.)
16. Sayed A. A., Vorobyov A. N., Sinitsyna N. I., Abramovich R. A., Potanina O. G. The use of arabinogalactan in the development of tablets with dihydroquercetin. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2022; 24 (5): 128–136. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-5-128-136. (In Russ.)
17. Eskov E. K., Rozhenkov A. S., Shestakova E. V., Fomichev Yu. P., Mazina G. S., Yaroshevich G. S. Efficacy of arabinogalactan in nose matosis. *Beekeeping*. 2022; 2: 24–27. (In Russ.)

Authors' information:

Marina I. Vasilyeva, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of technology of livestock processing, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0002-1778-9808, AuthorID 753708. E-mail: marinaroshya@gmail.com

Svetlana L. Vorobyeva, doctor of agricultural sciences, professor of the department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. E-mail: vorobievsveta@mail.ru

Sergey I. Kokonov, doctor of agricultural sciences, professor of the department of plant growing, agriculture and breeding, Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-7201-3909, AuthorID 347100. E-mail: nir@udsau.ru

Функциональный комплекс микроорганизмов на минеральном носителе для каскадной ферментативной деструкции отходов птицеводства

Г. В. Ильина[✉], Д. Ю. Ильин, А. А. Гришина, А. Р. Дашкина

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

[✉]E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

Аннотация. Цель настоящего исследования – повышение эффективности микробного компостирования органических отходов птицеводства и обеспечение сохранения биогенных веществ в компосте путем использования функционального комплекса микробных культур-деструкторов, интегрированного с минеральным носителем. **Методы.** Биомассу функциональных микроорганизмов получали методом погруженного культивирования и инокулировали в компостируемый субстрат в заданной хронологической последовательности. Используются три комплекса микроорганизмов (нитрификаторы; термофильные деструкторы целлюлозы и лигнина подстилочного материала; мезофильные микроорганизмы – почвообразователи). Функциональную группу нитрификаторов инокулировали на минеральном носителе – глауконите в целях хемосорбции аммиака и его преобразования в нитраты. **Научная новизна.** Экологически обоснованные, аналогичные природным процессам деструкции органического вещества и гумификации приемы каскадной деструкции целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов специально сконструированными комплексами микроорганизмов, а также интеграция микроорганизмов с минеральным носителем – глауконитом являются принципиально новыми подходами в практике биоконверсии и получения органоминеральных удобрений. **Практическая значимость.** Использование описанных приемов на практике позволит сократить эмиссию нежелательных газов в атмосферу, снизить потери азота и получить экологически безопасный компост, который можно использовать в качестве органоминерального удобрения. **Результаты.** В пометно-подстилочных материалах установлено преобладание бактерий родов *Bacillus* и *Enterobacter* среди прочих аборигенных микроорганизмов – инициаторов процесса компостирования. Обнаружено повышение эффективности компостирования за счет инокуляции комплексов функциональных микроорганизмов на 21,5 %. Потери азота в эксперименте сократились на 30–33 %. Специальные приемы позволили связать остаточные количества аммиака и создать благоприятные условия для деятельности почвообразователей – актиномицетов на конечных этапах деструкции. Полученные результаты достигнуты за счет оптимального соответствия экологической и функциональной роли групп микроорганизмов каждой из стадий разложения субстрата.

Ключевые слова: биоконверсия отходов, экологическая безопасность, микробная ферментация, сельскохозяйственная биотехнология

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10059.

Для цитирования: Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Функциональный комплекс микроорганизмов на минеральном носителе для каскадной ферментативной деструкции отходов птицеводства // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 670–681. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-670-681>.

Дата поступления статьи: 30.10.2023, **дата рецензирования:** 29.01.2024, **дата принятия:** 18.03.2024.

Functional complex of microorganisms on mineral carrier for cascade enzymatic degradation of poultry waste

G. V. Ilyina[✉], D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

[✉]E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru

Abstract. The purpose of this study is to increase the efficiency of microbial composting of organic poultry waste and to ensure the preservation of nutrients in compost by using a functional complex of microbial destructuring cultures integrated with a mineral carrier. **Methods.** Biomass of functional microorganisms was obtained by submerged cultivation and inoculated into a compostable substrate in a given chronological sequence. Three complexes of microorganisms were used (nitrifiers; thermophilic decomposers of cellulose and lignin of litter material; mesophilic microorganisms – soil formers). The functional group of nitrifiers was inoculated on a mineral carrier, glauconite, for the purpose of chemisorption of ammonia and its conversion into nitrates. **Scientific novelty.** Environmentally sound, similar to natural processes of destruction of organic matter and humification, methods of cascade destruction of cellulose- and lignin-containing waste by specially designed complexes of microorganisms, as well as the integration of microorganisms with a mineral carrier – glauconite – are fundamentally new approaches in the practice of bioconversion and the production of organomineral fertilizers. **Practical significance.** Using the described techniques in practice will reduce the emission of unwanted gases into the atmosphere, reduce nitrogen losses and obtain environmentally friendly compost, which can be used as an organomineral fertilizer. **Results.** In the dung and litter materials, the predominance of bacteria of the genera *Bacillus* and *Enterobacter* among other native microorganisms as initiators of the composting process was established. An increase in composting efficiency due to inoculation of complexes of functional microorganisms by 21.5 % was found. Nitrogen losses in the experiment were reduced by 30–33 %. Special techniques made it possible to bind residual amounts of ammonia and create favorable conditions for the activity of soil formers – actinomycetes at the final stages of destruction. The results obtained were achieved due to the optimal correspondence of the ecological and functional role of groups of microorganisms to each of the stages of substrate decomposition.

Keywords: waste bioconversion, environmental safety, microbial fermentation, agricultural biotechnology

Acknowledgements. The research was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-10059.

For citation: Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Functional complex of microorganisms on a mineral carrier for cascade enzymatic destruction of poultry waste. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 670–681. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-670-681>. (In Russ.)

Date of paper submission: 30.10.2023, **date of review:** 29.01.2024, **date of acceptance:** 18.03.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Сельскохозяйственное производство служит одним из основных источников отходов, негативно влияющих на состояние почвы и других объектов окружающей среды. Отрасль птицеводства значительно загрязняет среду органическими отходами. Птицеводство – одна из основных и наиболее динамично развивающихся отраслей агропродовольственной промышленности в мире, а помет является наиболее распространенным отходом этой отрасли и требует альтернативной обработки, чтобы смягчить воздействие неправильной утилизации на окружающую среду [1–3]. Нередко объемы этих отходов так велики, что их размещение становится сложной проблемой для производства. Во всем мире животноводство в настоящее время переживает определенный кризис из-за отсутствия

экономически эффективных средств и способов переработки помета, в том числе птичьего [4]. Попадание биогенов и аборигенной микрофлоры помета в почву ведет к изменению состава компонентов биоценозов и характеристик их биотопов [5; 6]. Под влиянием газофазных испарений из пометных отходов может находиться и атмосферный воздух [7; 8]. Размещение и длительное складирование отходов на полигонах представляет экономическую проблему для предприятия, а также часто служит причиной социальной напряженности в близлежащих населенных пунктах, что в итоге способно негативно отразиться на вопросах масштабирования производства. Альтернативные, экологически приемлемые пути утилизации с потенциальными финансовыми выгодами могут заключаться в крупномасштабных схемах преобразования биомассы

в энергию, которые также могут обеспечить более легкое обращение с удобрениями в качестве побочного продукта [9; 10].

Одним из путей решения проблемы способно стать компостирование отходов, которое может рассматриваться как вариант микробной биоконверсии. Процесс компостирования, по сути, аналогичен процессу гниения. Однако серьезные потери азота, медленные процессы гумификации и длительные циклы компостирования по-прежнему остаются нерешенными проблемами в процессах компостирования [11]. Внимание исследователей привлекает экзогенная инокуляция микробов при аэробном компостировании [12; 13]. Каждое предприятие имеет свои уникальные особенности, связанные с географическим положением, технологиями, оборудованием, режимом работы, особенностями сырья и другими, которые в совокупности способны повлиять на характер образующихся отходов, который должен учитываться при утилизации последних. В связи с этим приоритетным становится поиск и адаптация к имеющемуся сырью комплекса микроорганизмов, способного обеспечить поэтапную (каскадную) деструкцию органических материалов подобно естественному природному процессу разложения, гумификации и почвообразования.

Цель настоящего исследования – повышение эффективности микробного компостирования органических отходов птицеводства и обеспечение сохранения биогенных веществ в компосте путем использования функционального комплекса микробных культур-деструкторов, интегрированного с минеральным носителем.

Это позволит сократить эмиссию нежелательных газов в атмосферу, снизить потери азота и получить экологически безопасный компост, который можно использовать в качестве органоминерального удобрения. Сведения об апробации инновационных удобрений, полученных путем микробной ферментации отходов, имеются в отечественных и зарубежных литературных источниках [14–18]. Кроме того, показали свою эффективность приемы интеграции микробных комплексов с минеральными носителями [19].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования, положенные в основу работы, выполнялись на базе Пензенского государственного аграрного университета. Отходы птицеводства (пометно-подстилочная масса) были получены с полигона хранения отходов ГК Дамате, расположенного в Нижнеломовском районе Пензенской области. Это отработанные подстилочные массы, содержащие помет индейки и соломисто-опилочные материалы. Аборигенная микрофлора пометно-подстилочных субстратов исследовалась в течение значительного времени и предвляла проведение

экспериментальной работы. Культуры бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов, использованные в эксперименте, поддерживаются в коллекции Пензенского ГАУ и были приобретены в разное время во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт». Выделение, изоляцию и идентификацию аборигенных культур микроорганизмов из отходов осуществляли общепринятыми методами микробиологического анализа [20; 21]. Каждый этап деструкции материала отходов осуществлялся специально подобранной группой микроорганизмов, в связи с чем подготавливались отдельные микробные композиции. Питательную среду Виноградского использовали для культивирования микроорганизмов-нитрификаторов, среду Гетчинсона – для деструкторов целлюлозы и лигнина, среду Ваксмана – для культур актиномицетов. Для выявления общего представительства бактериальной микрофлоры использовали мясопептонный агар. Для выявления грибной микрофлоры использовали питательную среду Сабуро.

Пометно-подстилочную массу 60-процентной влажности помещали в пластиковые контейнеры по 5,0 кг и экспонировали в стандартных условиях (20 °С, 760 мм рт. ст.) в течение 10 суток при периодическом перемешивании. В контрольном варианте происходила ферментация субстратов за счет ферментативной активности только аборигенной микрофлоры. В опытном варианте в субстрат добавляли первый комплекс микроорганизмов – культуру нитрификаторов – представителей рода *Nitrosomonas*, иммобилизованных на минеральном носителе глауконите в количестве 5,0 % от массы субстрата и с титром микроорганизмов $5,0 \times 10^5$ клеток на 1 г минерального носителя. Для использования концентрированную культуру разбавляли водопроводной водой в соотношении 1 : 10 и вносили при перемешивании в измельченную до фракции 0,01–0,5 мм массу минерального носителя глауконита в количестве 1 л на 10,0 кг. По истечении 10 суток для деградации труднорастворимых целлюлозных и лигниновых компонентов в опытных вариантах в субстрат инокулировали функциональные комплексы термофильных мицелиальных грибов родов *Thelavia* и *Myceliophthora* в виде взвеси клеток с титром 10,0–12,0 млн клеток на 1 л культуральной жидкости. В ходе осуществления последнего этапа деструкции использовали актиномицетов родов *Nocardia* и *Cellulomonas*. Предварительно в компост вносили 10-процентный раствор серной кислоты до достижения pH на уровне 6,2–6,5 для связывания остаточных количеств аммиака и создания благоприятных условий для деятельности почвообразователей – грибов и актиномицетов на конечных этапах деструкции.

В контрольном и опытном вариантах главными оцениваемыми параметрами были органолептические (цвет, запах, консистенция), динамика величины рН. О процессах деструкции целлюлозных компонентов судили по убыли целлюлозы, содержание которой определяли азотно-спиртовым методом. Содержание подвижных форм биогенных элементов в компостах определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-104 м». В качестве основного параметра в определении эффективности процесса принимали динамику убыли массы субстрата, которую оценивали гравиметрически.

Эксперименты проводили в трехкратной повторности, различия считали достоверными при $p \leq 0,05$. Статистический анализ достоверности полученных результатов осуществлялся с помощью программного пакета Microsoft Excel.

Результаты (Results)

В процессе изучения аборигенной микрофлоры пометно-подстилочного материала определялись состав присутствующих микроорганизмов, а также динамика их состава в зависимости от сроков компостирования.

В качестве исходной точки в проводимых исследованиях использована отработанная индюшиная пометно-подстилочная масса, доставляемая на полигон хранения. В дальнейшем для изучения динамики микробных процессов образцами служили пробы пометно-подстилочного материала, депонированные в течение полугода и одного года.

В только что отработанной подстилке в зависимости от ее происхождения (подстилка с участков подрачивания индейки или откорма) или ее основы (древесная стружка или солома злаков) отмечается довольно высокий титр микроорганизмов: от $4,8 \times 10^8$ до $5,2 \times 10^9$ КОЕ/г сухого субстрата. Основное разнообразие видового состава приходится на резидентов желудочно-кишечного тракта птицы (бактерии рода кишечной палочки, анаэробные клостридии, бактероиды, клетки дрожжей в небольшом количестве), а также некоторая доля бактерий, являющихся типичными представителями зимогенной микрофлоры подобных субстратов. Выделенные колонии микроорганизмов представлены на рис. 1.

Преобладающей группой являются бактерии рода *Bacillus*. Они играют важную роль в процессах аммонификации как стартового этапа деструкции азотсодержащей массы отходов. С процесса аммонификации запускается ступенчатая деградация пометно-подстилочной смеси, в связи с чем наличие и сохранение в депонируемой массе бактерий, в частности *Bacillus*, принципиально и очень важно. В материале, доставленном на полигон непосредственно с площадок откорма, была выделена единичная колония мицелиальных грибов и не

были обнаружены представители актиномицетов. Данный факт может объясняться преобладанием в свежей пометно-подстилочной смеси легкодоступных питательных факторов, преимущественно утилизируемых бактериями, а также значением рН субстрата на уровне 8,0–9,5, обусловленное процессами аммонификации, сопровождающимися выделением свободного аммиака. Смещение диапазона рН в щелочную область обычно рассматривается как один из неблагоприятных факторов, препятствующих распространению грибов в данной экологической нише.

По истечении каждых двух месяцев с начала размещения пометно-подстилочных материалов на полигоне хранения отбирались пробы для оценки изменения состава микроорганизмов. Было установлено, что общее число микроорганизмов в течение полугода существенно снижается по сравнению с исходным и составляет от $1,0 \times 10^7$ до $1,0 \times 10^8$ КОЕ/г сухого субстрата. Это может объясняться состоявшейся термической фазой процесса естественного компостирования материала. Также к важным изменениям параметров субстрата можно отнести снижение значения рН, обусловленное уменьшением интенсивности выделения аммиака, и, как следствие, возрастание в микробном ценозе доли грибной микрофлоры и актиномицетов (рис. 2). Активация развития последних может рассматриваться как индикатор истощения легкодоступных компонентов субстрата и изменения направленности микробиологических процессов в сторону переработки более труднорастворимых (целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин).



Рис. 1. Развитие микробных культур, выделенных из пометно-подстилочной массы, доставленной на полигон хранения
Fig. 1. Development of microbial cultures isolated from litter delivered to the landfill site

После ассимиляции легкодоступных компонентов в процесс деструкции вовлекаются более сложно утилизируемые компоненты, локализованные главным образом в подстилочных материалах (древесная стружка, опилки, щепа, солома злаков), по своей химической природе представляющие собой такие полимеры, как целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин. С учетом вышесказанного целесообразным подходом представляется внесение на начальных этапах препаратов, обеспечивающих аммонификацию и нитрификацию, а на более поздних – целлюлозо- и лигнолитических комплексов микроорганизмов. В установлении сроков внесения соответствующих комплексов микроорганизмов на протяжении процесса важную роль может играть показатель pH. Как правило, на начальных этапах активной ферментации показатель pH находится в щелочной области, а по мере дальнейшей биодegradации происходит его сдвиг в кислую сторону. Объясняется этот факт тем, что при аммонификации выделяющийся аммиак, взаимодействуя с водой, образует раствор гидроксида аммония, обладающего щелочными свойствами. На более поздних этапах происходит последовательное окисление трудноразлагаемых соединений, результатом чего могут

быть продукты с кислотными свойствами (карбонные кислоты и фенольные соединения). Регулирование величины pH во многом определяется деятельностью самих микроорганизмов и поэтапной сменой их формаций. Кроме изменений видового состава микроорганизмов, сдвиги значений pH могут также способствовать преобразованию форм веществ, подвижности элементов, и, как следствие, степени ассимилируемости таких важных биогенных элементов, как фосфор и азот. Однако для ускорения этих изменений представляется возможным коррекция pH субстрата кислотными растворами, что может обеспечить лучшую адаптацию определенных микроорганизмов и максимально полную реализацию физиолого-биохимического потенциала. Поскольку получаемый в итоге компост является интегральным результатом деятельности всех микроорганизмов на всех этапах биодеструкции разлагаемого материала, то регуляция процесса посредством последовательного внесения соответствующих микробных комплексов с одновременной коррекцией величины pH может обеспечить получение качественного продукта в максимально сжатые сроки.

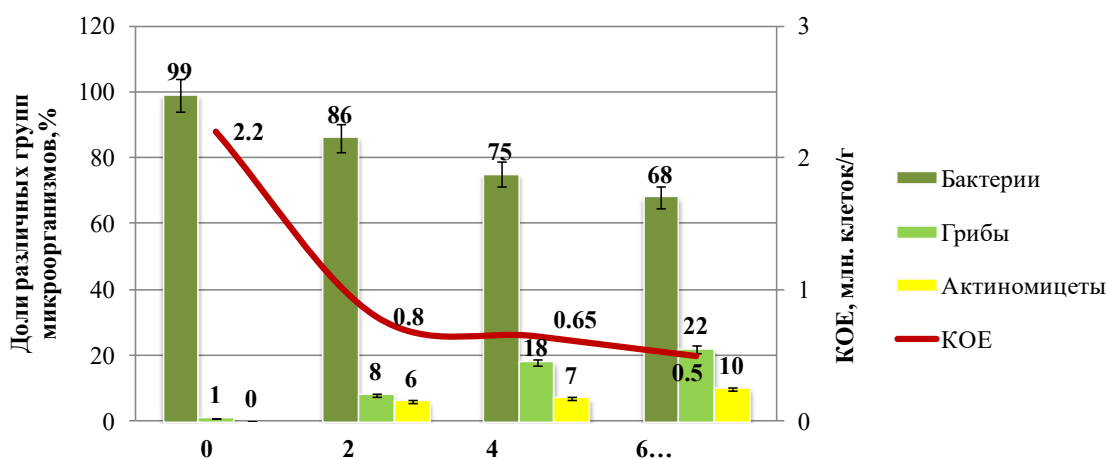


Рис. 2. Качественный и количественный состав групп микроорганизмов в материале отходов птицеводства (пометно-подстилочные массы) при хранении

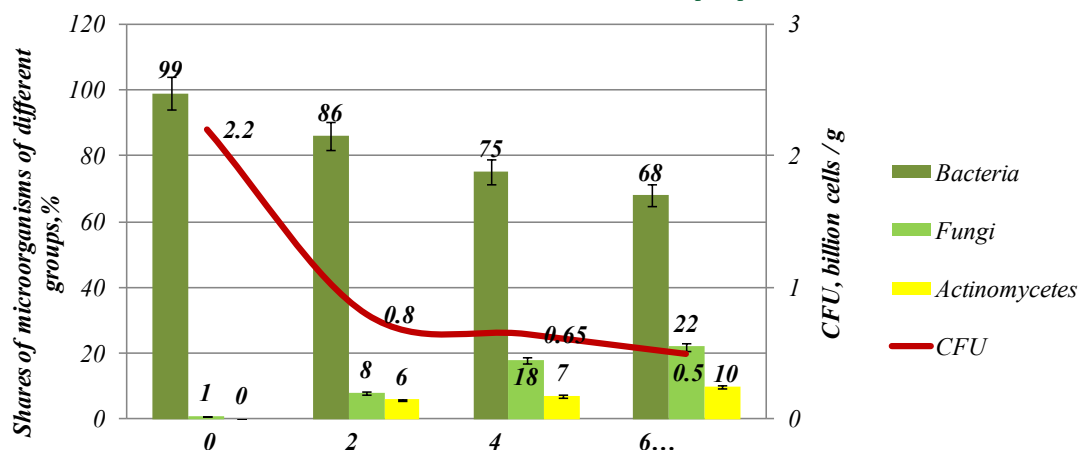


Fig. 2. Qualitative and quantitative composition of microorganism groups in poultry waste material (litter) during storage

В ходе исследований была проведена серия опытов с объединением индивидуальных культур микроорганизмов в комплексы, а также поэтапным внесением этих комплексов в субстрат. В контрольном варианте происходила ферментация субстратов за счет ферментативной активности только аборигенной микрофлоры. В опытном варианте в субстрат добавляли первый комплекс микроорганизмов – культуру нитрификаторов – представителей рода *Nitrosomonas*, иммобилизованных на минеральном носителе глауконите. В течение 10 суток материал из контрольного и опытного вариантов с интервалом в двое суток анализировали на предмет содержания органического азота в субстрате, а также определяли количество аммонийного и нитратного азота в составе субстрата. Установлено, что внесение хемоавтотрофной бактерии *Nitrosomonas* в комплексе с глауконитом стимулирует не толь-

ко процессы нитрификации, но и аммонификации в компосте (рис. 3, 4). Это осуществляется за счет связывания аммиака в процессах адсорбции и хемосорбции.

Такие приемы обеспечивают снижение эмиссии аммиака за счет связывания его в форму сульфата аммония, а также окисления до нитратов и, как следствие, сохранение азота в доступной для биологической ассимиляции форме. В опытном варианте установлена также интенсификация убыли субстрата на 9,0 % от контроля, которая сопровождается распадом углеродсодержащих соединений в целом.

Таким образом, связывание конечного продукта данного этапа деструкции исключает его ингибирующее влияние на начальные этапы процесса разложения, что может служить одной из иллюстраций принципа Ле-Шателье в химическом аспекте.

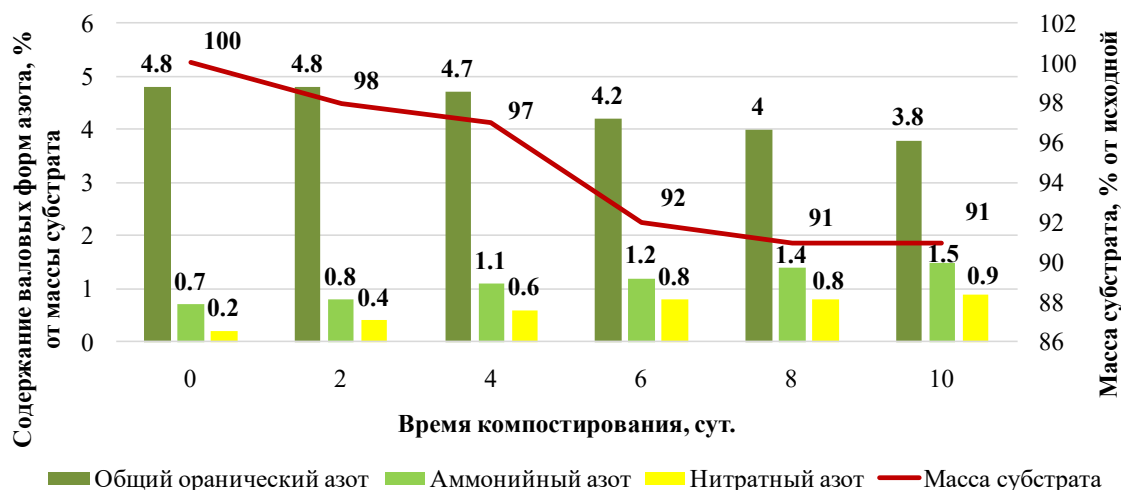


Рис. 3. Убыль субстрата и динамика содержания в нем разных форм азота в процессе компостирования отходов птицеводства в присутствии аборигенной микрофлоры (контроль)

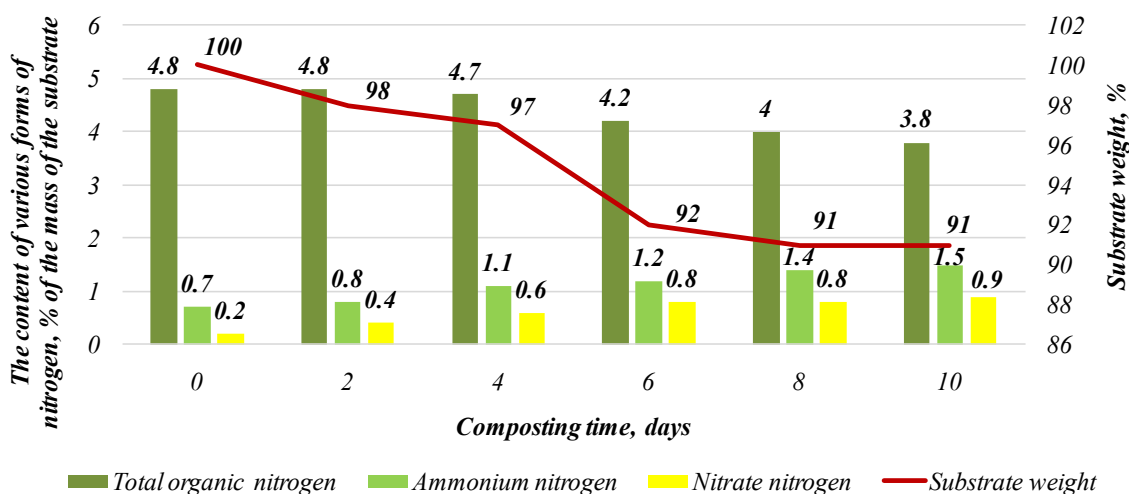


Fig. 3. Loss of substrate and dynamics of content of different forms of nitrogen in it during composting of poultry waste in the presence of indigenous microflora (control)

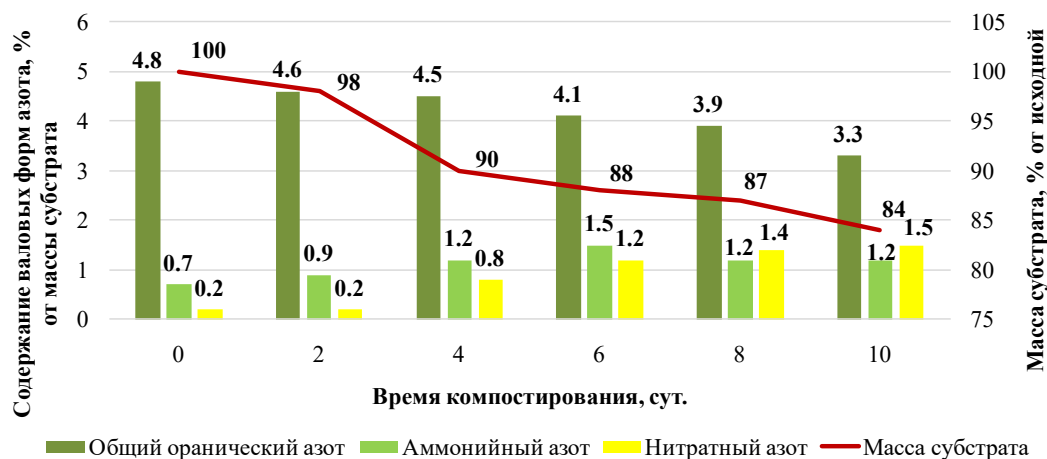


Рис. 4. Убыль субстрата и динамика содержания в нем разных форм азота в процессе компостирования отходов птицеводства в присутствии аутохтонной микрофлоры с добавлением хемоавтотрофной бактерии *Nitrosomonas* в комплексе с минеральным носителем – глауконитом (опыт)

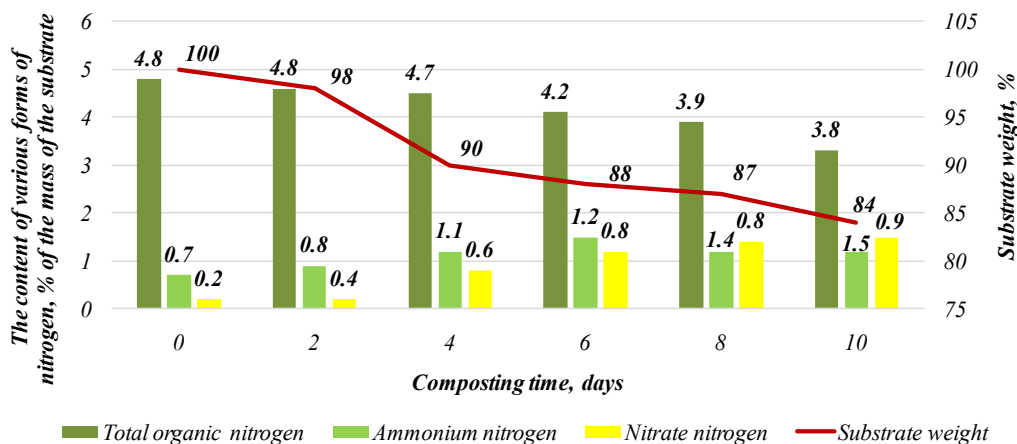


Fig. 4. Loss of substrate and dynamics of its content of different forms of nitrogen in the process of composting of poultry waste in the presence of indigenous microflora with the addition of chemoautotrophic bacterium *Nitrosomonas* in complex with mineral carrier – glauconite (experiment)

Для деградации труднорастворимых компонентов в субстрат инокулировали функциональный комплекс мицелиальных грибов родов *Thielavia* и *Muceliophthora* в равных долях в виде взвеси клеток с титром 10,0–12,0 млн клеток на 1 л культуральной жидкости. На данном этапе компостирования наступает термофаза, поэтому были задействованы термофильные виды микромицетов. В контрольном варианте ферментация осуществлялась за счет естественной микрофлоры, без добавления культур мицелиальных грибов. О процессах деструкции целлюлозных компонентов судили по убыли целлюлозы. Термический этап компостирования продолжался в течение двух недель и обеспечил в эксперименте более эффективную деструкцию целлюлозы (на 18,1 %) и более интенсивную убыль субстрата (на 12,3 %), чем в контроле (таблица 1). Такие результаты свидетельствуют о целесообразности применения термофильных мицелиальных грибов *Thielavia* и *Muceliophthora* для более эффективного расщепления целлюлозных компонентов пометно-подстилочного субстрата.

На последнем этапе деструкции использовали актиномицеты родов *Cellulomonas* и *Nocardia*. Внесение 10-процентного раствора серной кислоты до достижения pH на уровне 6,2–6,5 позволило связать остаточные количества аммиака и создать благоприятные условия для деятельности почвообразователей. Данный этап продолжался в течение месяца, а суммарно весь процесс эксперимента составил два месяца. Были получены контрольный и опытный образцы компоста, существенно отличные друг от друга по ряду характеристик, причем для экспериментального образца был характерен типичный запах почвы и насыщенный бурый цвет (таблица 2).

Итогом ферментации является получение зрелого компоста – рыхлой массы влажностью 30 %, цветом от светло-бурого до насыщенно коричневого, с характерным землистым запахом, свойства которого позволяют рассматривать его в качестве органоминерального удобрения.

Таблица 1

Эффективность деструкции трудноразлагаемых компонентов субстрата под воздействием микроорганизмов после двух недель ферментации при температуре 50–60 °С

Параметры	Варианты компостирования	
	Контроль (аборигенная микрофлора)	Опыт (аборигенная микрофлора и функциональный комплекс микроорганизмов)
Содержание целлюлозы, % от исходного количества	82,4 ± 4,1	67,5 ± 1,6
Масса субстрата, % от исходной	86,8 ± 1,1	76,1 ± 0,9

Table 1

Efficiency of degradation of difficult to degrade substrate components under the influence of microorganisms after two weeks of fermentation at 50–60 °C

Parameters	Composting options	
	Control (indigenous microflora)	Experiment (indigenous microflora and functional complex of microorganisms)
Cellulose content, % of initial quantity	82.4 ± 4.1	67.5 ± 1.6
Substrate weight, % of initial weight	86.8 ± 1.1	76.1 ± 0.9

Таблица 2

Эффективность деструкции образцов субстрата массой 5 кг по истечении 2 месяцев экспонирования под воздействием микроорганизмов

Параметры	Варианты компостирования	
	Контроль (аборигенная микрофлора)	Опыт (аборигенная микрофлора и функциональный комплекс микроорганизмов)
Цвет	Серо-коричневый	Темно-бурый
Запах	Аммиачный	Землистый
Консистенция	Крупнодисперсная, потеря прочности подстилки незначительна	Мелкодисперсная, потеря прочности подстилки сильно выражена
pH	7,7 ± 0,1	7,2 ± 0,1
Масса субстрата, % от исходной	83,7 ± 0,7	62,2 ± 0,3
Содержание подвижного азота (N-NO ₃), мг/кг	29,7 ± 0,3	38,3 ± 0,7

Table 2

Destruction efficiency of 5 kg substrate samples after 2 months of exposure to microorganisms

Parameters	Composting options	
	Control (indigenous microflora)	Experiment (indigenous microflora and functional complex of microorganisms)
Colour	Grey-brown	Dark brown
Odour	Ammonia	Earthy
Consistency	Coarsely dispersed, loss of bedding strength is negligible	Finely dispersed, loss of bedding strength is pronounced
pH	7.7 ± 0.1	7.2 ± 0.1
Substrate weight, % of initial one	83.7 ± 0.7	62.2 ± 0.3
Mobile nitrogen content (N-NO ₃), mg/kg	29.7 ± 0.3	38.3 ± 0.7

Таким образом, установлено, что процесс компостирования инициируется аборигенной микрофлорой, однако обнаружено повышение его эффективности за счет инокуляции комплексов микроорганизмов на 21,5 % (таблица 3).

Отдельного внимания заслуживает динамика pH на фоне убыли субстрата в период микробной деструкции. Очевидно, что это достигается за счет обеспечения оптимального соответствия экологической и функциональной роли групп микроорга-

низмов определенной стадии разложения субстрата. Такой подход позволяет достичь синергического эффекта во взаимодействии микроорганизмов, поскольку продукты каждого из этапов преобразования субстрата способствуют раскрытию потенциала деструкторов последующих этапов.

Результаты эксперимента позволили установить эффективность предлагаемых микробных композиций, вносимых в субстрат в соответствии с определенными этапами его деструкции.

Таблица 3
Убыль субстрата и динамика pH при компостировании отходов птицеводства под влиянием функциональных комплексов микроорганизмов

Период деструкции, неделя	Контроль		Опыт	
	Масса субстрата, г	pH, ед.	Масса субстрата, г	pH, ед.
0	5000 ± 0,3	7,40 ± 0,1	5000 ± 0,7	7,45 ± 0,1
1	4978 ± 14,1	8,30 ± 0,3	4981 ± 16,1	8,30 ± 0,3
2	4895 ± 12,7	9,20 ± 0,3	4899 ± 11,3	9,30 ± 0,1
3*	4764 ± 21,6	9,40 ± 0,7	4710 ± 14,3	6,20 ± 0,4
4	4659 ± 13,7	9,50 ± 0,2	4370 ± 32,7	6,30 ± 0,3
5	4590 ± 33,3	9,50 ± 0,2	4300 ± 33,3	6,50 ± 0,2
6	4489 ± 26,8	9,20 ± 0,3	4186 ± 42,4	6,60 ± 0,3
7	4458 ± 31,7	9,00 ± 0,2	3690 ± 37,7	6,70 ± 0,2
8	4438 ± 36,3	8,60 ± 0,1	3480 ± 33,4	6,80 ± 0,2

* Внесение в опытном варианте 10-процентного раствора серной кислоты для коррекции pH.

Table 3
Substrate loss and pH dynamics during poultry waste composting under the influence of functional complexes of microorganisms

Destruction period, weeks	Control		Experiment	
	Substrate weight, g	pH, pcs.	Substrate weight, g	pH, pcs.
0	5000.0 ± 0.3	7.4 ± 0.1	5000.0 ± 0.7	7.5 ± 0.1
1	4978.4 ± 14.1	8.3 ± 0.3	4981.3 ± 16.1	8.3 ± 0.3
2	4895.6 ± 12.7	9.2 ± 0.3	4899.1 ± 11.3	9.3 ± 0.1
3*	4764.5 ± 21.6	9.4 ± 0.1	4710.2 ± 14.3	6.2 ± 0.2
4	4659.5 ± 13.7	9.5 ± 0.2	4370.6 ± 32.7	6.3 ± 0.1
5	4590.4 ± 33.3	9.5 ± 0.2	4300.4 ± 33.3	6.5 ± 0.2
6	4489.7 ± 26.8	9.2 ± 0.3	4186.6 ± 42.4	6.6 ± 0.3
7	4458.1 ± 31.7	9.0 ± 0.2	3690.5 ± 37.7	6.7 ± 0.2
8	4438.8 ± 36.3	8.6 ± 0.1	3480.7 ± 33.4	6.8 ± 0.2

* Application of 10 % sulfuric acid solution for pH correction.

Такое поэтапное внесение микробных суспензий обеспечивает высокую динамику формирования необходимого титра соответствующих видов микробов, что в естественных условиях может достигаться в ходе конкурентной борьбы, растянутой во времени.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Предложенные микробные композиции, характеризующиеся устойчивостью и обеспечивающие глубокую степень деструкции отходов птицеводства, способны обеспечить получение компоста, богатого биогенными элементами в доступной форме. Каскадная микробная конверсия отходов обеспечивает минимизацию потерь биогенных элементов в процессе деструкции, что, с одной стороны, снижает объемы их выбросов в атмосферу, с другой – определяет переход в доступные для растений подвижные формы. Включение в микробную композицию хемотрофов позволяет сократить поступление в атмосферу углекислого газа, важнейшего фактора, вносящего вклад в развитие парникового эффекта. Предлагаемый подход в утилизации органических отходов может обеспечить временное выпадение

углерода из круговорота за счет превращения в относительно устойчивые гуминовые вещества. При масштабной реализации такого приема его можно рассматривать как один из возможных механизмов регулирования поступления углекислого газа в рамках биосферы.

Таким образом, в ходе реализации предлагаемой технологии органические отходы птицеводства в виде отработанной подстилочной массы при помощи микроорганизмов могут быть переработаны в биогумус, или органоминеральное удобрение.

Предлагаемая технология будет востребована на предприятиях, образующих значительные массы органических отходов, в частности, на птицеводческих. Отличительными особенностями технологии будут ее воспроизводимость и относительно низкая себестоимость при высоком эффекте от реализации продукта. Полученные удобрения могут использоваться в пределах производственного холдинга, образующего сырье – органические отходы, поскольку подавляющее большинство таких предприятий имеет сектор растениеводства для самообеспечения кормами (замкнутый цикл).

Библиографический список

1. Ямалиев Т. Ш., Бочарова А. А. Экологические проблемы птицеводства // Мир Инноваций. 2021. № 4. С. 40–43.
2. Uktam T., Shafaoat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers // International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020. Vol. 24, No. 6. Pp. 7263–7274. DOI: 10.37200/IJPR/V24I6/PR260731.
3. Iljina G. V., Iljin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022. Vol. 65, No. 2. Pp. 91–96.
4. Harindintwali J. D., Zhou J., Muhoza B., Wang F., Herzberger A., Yu X. Integrated eco-strategies towards sustainable carbon and nitrogen cycling in agriculture // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 293. Article number 112856. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112856.
5. Crippen T. L., Sheffield C. L., Singh B., Byrd J. A., Beier R. C., Anderson R. C. Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 780. Article number 146413. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146413.
6. Li F., Ghanizadeh H., Cui G., Liu J., Miao S., Liu Ch., Song W., Chen X., Cheng M., Wang P., Zhang Y., Wang A. Microbiome – based agents can optimize composting of agricultural wastes by modifying microbial communities // Bioresource Technology. 2023. Vol. 374. Article number 128765. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.128765.
7. Воробьева А. А. Ильина Г. В., Ильин Д. Ю. Разработка технологии каскадной микробной конверсии отходов птицеводства // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. Т. I. С. 192–194.
8. Воробьева А. А. Производство органоминерального удобрения путем биоконверсии отходов птицеводства // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8, № 2. С. 39–42.
9. Смирнов Р. В., Бездудная А. Г., Трейман М. Г. Инновационная деятельность по переработке производственных отходов на примере птицефабрики // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2020. № 1 (51). С. 54–60.
10. Фахреев Н. Н. Разработка и обоснование параметров газификационной установки для утилизации отходов птицеводства: дис. ... канд. техн. наук: 4.3.1. Казань, 2023. 179 с.
11. Hoang H. G., Thuy B. T. P., Lin C., Vo D. N., Tran H. T., Bahari M. B., Le V. G., Vu C. T. The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: a review // Chemosphere. 2022. Vol. 300. Article number 134514. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134514.
12. Guo H., Zhao S., Xia D., Zhao W., Li Q., Liu X., Lv J. The biochemical mechanism of enhancing the conversion of chicken manure to biogenic methane using coal slime as additive // Bioresource Technology. 2022. Vol. 344 (Part B). Article number 126226. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134514.
13. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K., Chang S. W., Selvi P. K., Balachandar R., Chinnappan S., Azelee N. I. W., Munuswamy-Ramanujam G. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production // Bioresource Technology. 2022. Vol. 346. Article number 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.
14. Sigurnjak I., Brienza C., Snauwaert E., De Dobbelaere A., De Mey J., Vaneekhaute C., Michels E., Schoumans O., Adani F., Meers E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-)scrubbing technology // Waste Management. 2019. Vol. 89. Pp. 265–274. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.043.
15. Esmailian Y., Amiri M. B., Tavassoli A., Caballero-Calvo A., Rodrigo-Comino J. Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation // Chemosphere. 2022. Vol. 307 (Part 1). Article number 135537. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135537.
16. Srivastava R. K., Shetti N. P., Reddy K. R., Aminabhavi T. M. Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 722. Article number 137927. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137927.
17. Pereira A. S. A. de P., Castro J. de S., Ribeiro V. J., Calijuri M. L. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 779. Article number 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205.
18. Bibi F., Ilyas N., Arshad M., Khalid A., Saeed M., Ansar S., Batley J. Formulation and efficacy testing of bio-organic fertilizer produced through solid-state fermentation of agro-waste by *Burkholderia cenocepacia* // Chemosphere. 2022. Vol. 291 (Part 3). Article number 132762. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132762.
19. He Y., Zhang Y., Huang X., Xu J., Zhang H., Dai X., Li X. Deciphering the internal driving mechanism of microbial community for carbon conversion and nitrogen fixation during food waste composting with multifunc-

tional microbial inoculation // *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 360. Article number 127623. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127623.

20. Белов А. А., Чепцов В. С., Лысак Л. В. Методы идентификации почвенных микроорганизмов. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2020. 196 с.

21. Маннапова Р. Т. Микробиология. Москва: ООО «Прспект», 2019. 440 с. DOI: 10.31085/9785392287734-2019-440.

Об авторах:

Галина Викторовна Ильина, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

Дмитрий Юрьевич Ильин, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

Анна Андреевна Гришина, аспирант кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

Альбина Рафаэльевна Дашкина, аспирант кафедры почвоведения, агрохимии и химии, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*

References

1. Yamaliev T. Sh., Bocharova A. A. Environmental problems of poultry farming. *World of Innovation*. 2021; 4: 40–43. (In Russ.)

2. Uktam T., Shafaat N., Akhmed R. Animal waste processing technology and poultry farming in organomineral fertilizers. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24 (06): 7263–7274. DOI: 10.37200/IJPR/V24I6/PR260731.

3. Iljina G. V., Iljin D. Yu., Zimnyakov V. M., Sashenkova S. A. Influence of organomineral fertilizer based on fermented poultry waste on the physico-chemical parameters of agricultural soils. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2022; 65 (2): 91–96.

4. Harindintwali J. D., Zhou J., Muhoza B., Wang F., Herzberger A., Yu X. Integrated eco-strategies towards sustainable carbon and nitrogen cycling in agriculture. *Journal of Environmental Management*. 2021; 293: 112856. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112856.

5. Crippen T. L., Sheffield C. L., Singh B., Byrd J. A., Beier R. C., Anderson R. C. Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland. *Science of The Total Environment*. 2021; 780: 146413. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146413.

6. Li F., Ghanizadeh H., Cui G., Liu J., Miao S., Liu Ch., Song W., Chen X., Cheng M., Wang P., Zhang Y., Wang A. Microbiome – based agents can optimize composting of agricultural wastes by modifying microbial communities. *Bioresource Technology*. 2023; 374: 128765. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.128765.

7. Vorob'yeva A. A., Il'ina G. V., Il'in D. Yu. Development of technology for cascade microbial conversion of poultry waste. *Contribution of young scientists to the innovative development of the agroindustrial complex of Russia: collection of materials of the All-Russian (national) scientific-practical conference of young Scientists*. Penza: Penza State Agrarian University, 2021. Vol. I. Pp. 192–194. (In Russ.)

8. Vorob'yeva A. A. Production of organo-mineral fertilizers by bioconversion of poultry waste. *Innovative Machinery and Technology*. 2021; 8 (2): 39–42. (In Russ.)

9. Smirnov R. V., Bezdudnaya A. G., Treyman M. G. Innovative recycling activities industrial waste on the example of a poultry farm. *Technical and technological problems of the service*. 2020; 1 (51): 54–60. (In Russ.)

10. Fakhreev N. N. Development and justification of the parameters of a gasification plant for the disposal of poultry waste: dissertation ... candidate of technical sciences: 4.3.1. Kazan, 2023. 179 p. (In Russ.)

11. Hoang H. G., Thuy B. T. P., Lin C., Vo D. N., Tran H. T., Bahari M. B., Le V. G., Vu C. T. The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: a review. *Chemosphere*. 2022; 300: 134514. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134514.

12. Guo H., Zhao S., Xia D., Zhao W., Li Q., Liu X., Lv J. The biochemical mechanism of enhancing the conversion of chicken manure to biogenic methane using coal slime as additive. *Bioresource Technology*. 2022; 344 (B): 126226. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134514.

13. Ravindran B., Karmegam N., Awasthi M. K., Chang S. W., Selvi P. K., Balachandar R., Chinnappan S., Azelee N. I. W., Munuswamy-Ramanujam G. Valorization of food waste and poultry manure through co-compost-

ing amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production. *Bioresource Technology*. 2022; 346: 126442. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442.

14. Sigurnjak I., Brienza C., Snauwaert E., De Dobbelaere A., De Mey J., Vaneekhaute C., Michels E., Schoumans O., Adani F., Meers E. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-)scrubbing technology. *Waste Management*. 2019; 89: 265–274. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.043.

15. Esmacilian Y., Amiri M. B., Tavassoli A., Caballero-Calvo A., Rodrigo-Comino J. Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere*. 2022; 307 (1): 135537. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135537.

16. Srivastava R. K., Shetti N. P., Reddy K. R., Aminabhavi T. M. Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes. *Science of the Total Environment*. 2020; 722: 137927. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137927.

17. Pereira A. S. A. de P., Castro J. de S., Ribeiro V. J., Calijuri M. L. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth. *Science of The Total Environment*. 2021; 779: 146205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146205.

18. Bibi F., Ilyas N., Arshad M., Khalid A., Saeed M., Ansar S., Batley J. Formulation and efficacy testing of bio-organic fertilizer produced through solid-state fermentation of agro-waste by *Burkholderia cenocepacia*. *Chemosphere*. 2022; 291 (3): 132762. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132762.

19. He Y., Zhang Y., Huang X., Xu J., Zhang H., Dai X., Li X. Deciphering the internal driving mechanism of microbial community for carbon conversion and nitrogen fixation during food waste composting with multifunctional microbial inoculation. *Bioresource Technology*. 2022; 360: 127623. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127623.

20. Belov A. A., Cheptsov V. S., Lysak L. V. *Methods for identifying soil microorganisms*. Moscow: MAKS Press LLC, 2020. 196 p. (In Russ.)

21. Mannapova R. T. *Microbiology*. Moscow: Prospect LLC, 2019. 440 p. DOI: 10.31085/9785392287734-2019-440. (In Russ.)

Authors' information:

Galina V. Ilyina, doctor of biological sciences, professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-2583-6029, AuthorID 161274. *E-mail: ilyina.g.v@pgau.ru*

Dmitry Yu. Ilyin, candidate of biological sciences, associate professor of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0001-8379-5811, AuthorID 1622117. *E-mail: ilyin.d.u@pgau.ru*

Anna A. Grishina, postgraduate of the department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0009-6224-7758, AuthorID 1135512. *E-mail: grishina.a.a@pgau.ru*

Albina R. Dashkina, postgraduate of the department of soil science, agrochemistry and chemistry, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0003-2387-8027, AuthorID 1119857. *E-mail: dashkina.a.r@pgau.ru*

Информационно-аналитические инструменты системы экологического менеджмента в агропредприятиях

Н. Ю. Трясцина[✉], Н. А. Трясцин

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]E-mail: ntryastsina@rgau-msha.ru

Аннотация. Целью исследования является развитие информационно-аналитических инструментов системы экологического менеджмента. Задачи, которые были решены в ходе исследования: 1) выполнен анализ подходов к содержанию экологического менеджмента, его нормативно-правового регулирования, 2) сформированы структурные элементы блоков системы экологического менеджмента, 3) предложена методика оценки значимости экологических аспектов деятельности организаций АПК как аналитический инструмент планирования в системе экологического менеджмента, 4) предложены инструменты мониторинга и оценки уровня экологической безопасности. В качестве основных **методов** исследования выступили анализ и синтез, монографический, расчетно-конструктивный, балльный, экспертных оценок, бухгалтерского учета. В процессе исследования использованы данные научной и методической литературы по тематике работы, статистическая информация Федеральной службы государственной статистики и министерства сельского хозяйства Российской Федерации, а также статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной Организации объединенных наций (ФАО). При разработке методических подходов к совершенствованию инструментария экологического менеджмента были учтены позиции Международной организации по стандартизации (ISO), Комиссии ООН по устойчивому развитию (CSD), Экологической программы ООН (UNEP). **Научная новизна** заключается в разработке методических подходов к планированию действий в системе экологического менеджмента организаций АПК в соответствии с циклом Деминга, а также совершенствованию связанных с этими процессами процедур документирования. **Результаты.** Обобщены подходы к содержанию экологического менеджмента; представлена и апробирована методика оценки значимости экологических аспектов на сельскохозяйственном предприятии как инструмент планирования в системе экологического менеджмента; предложены документы управленческого учета, необходимые для выявления, оценки экологических рисков и экологической безопасности в организациях АПК.

Ключевые слова: экологический менеджмент, система, экологические аспекты, факторы риска, оценка


Для цитирования: Трясцина Н. Ю., Трясцин Н. А. Информационно-аналитические инструменты системы экологического менеджмента в агропредприятиях // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 682–692. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-682-692>.

Дата поступления статьи: 24.01.2024, **дата рецензирования:** 19.04.2024, **дата принятия:** 25.04.2024.

Information and analytical tools of the environmental management system in agricultural enterprises

N. Yu. Tryastsina , N. A. Tryastsin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

 E-mail: ntryastsina@rgau-msha.ru

Abstract. The purpose of the study is to develop information and analytical tools for the environmental management system. The tasks that were solved during the study: 1) an analysis of approaches to the content of environmental management and its legal regulation was carried out, 2) the structural elements of the blocks of the environmental management system were formed, 3) a methodology was proposed for assessing the significance of the environmental aspects of the activities of agribusiness organizations as an analytical planning tool with the environmental management system, 4) tools for monitoring and assessing the level of environmental safety are proposed. The main research **methods** were analysis and synthesis, monographic, calculation-constructive, scoring, expert assessments, and accounting. During the research process, data from scientific and methodological literature on thematic works, statistical information from the Federal State Statistics Service and the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, as well as data from analytical reports and reports were used. When developing methodological approaches to improving environmental management tools, the positions International Organization for Standardization (ISO); UN Commission on Sustainable Development (CSD); United Nations Environment Program (UNEP) were taken into account. **The scientific novelty** lies in the development of methodological approaches to planning actions in organizations of systemic environmental management of the agro-industrial complex in accordance with the Deming cycle, as well as improvement of technologies with scientific processes of documentation procedures. **Results.** Generalized approaches to the content of environmental management; a methodology for assessing innovations in environmental aspects at an agricultural enterprise has been developed and tested as a planning tool with an environmental management system; proposed management accounting documents necessary for the application and assessment of environmental risks and safety in agricultural organizations.

Keywords: environmental management, system, environmental aspects, risk factors, assessment

For citation: Tryastsina N. Yu., Tryastsin N. A. Information and analytical tools of the environmental management system in agricultural enterprises. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 682–692. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-682-692>. (In Russ.)

Date of paper submission: 24.01.2024, **date of review:** 19.04.2024, **date of acceptance:** 25.04.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Сегодня наша планета находится в острой экологической ситуации. Проблемы экологии являются одной из важнейших задач, которые стоят перед обществом в XXI веке. Необходим ряд активных действий по поддержанию окружающей среды и поиску возможностей для экономического развития, которые не противоречат интересам природы и общества в целом.

Неразрывная связь бизнеса с социальными и экологическими вопросами ставит цели совмещения получения экономической выгоды и снижения негативного воздействия на окружающую среду [1].

При возрастающем влиянии производственно-хозяйственных процессов организаций на окружающую среду возникает необходимость в эффективном управлении природоохранной деятельностью, чему способствует внедрение систем экологического менеджмента [2], позволяющих систематизировать подходы к предотвращению и решению экологических проблем во всех аспектах бизнеса.

Актуальность данной проблемы обусловлена также потребностью соответствия бизнеса нормам законодательства в области экологии, которые вне зависимости от геополитической обстановки постоянно ужесточаются. Возрастающая роль международных экологических организаций (Гринпис, Международный «Зеленый крест», ЮНЭП, Всемирный фонд дикой природы и др.) вместе с трендом «зеленого потребления» обуславливают необходимость принятия компаниями мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Системы менеджмента качества на основе стандартов могут стать в скором времени обязательными для внедрения на территории РФ.

Вместе с тем до сих пор отсутствуют согласованные подходы к содержанию экологического менеджмента [3] и составляющих его элементов, недостаточно системно представлены методики выполнения этапов экологического менеджмента, оценки факторов экологических рисков, экологической безопасности, процедуры мониторинга и контроля

экологической эффективности функционирования системы экологического менеджмента и ряд других [4]. В основе информационно-аналитического обеспечения бизнес-процессов в агропредприятиях лежит работа с информацией [5]. Качественное ее формирование является базовым условием принятия обоснованных решений в экологической сфере. В этой связи актуально совершенствование инструментария экологического менеджмента организаций АПК.

Методология и методы исследования (Methods)

В процессе исследования использованы данные научной и методической литературы по тематике работы, статистическая информация Федеральной службы государственной статистики, министерства сельского хозяйства РФ, а также официальные данные ФАО. Общая логическая и структурная составляющие исследования были построены на базе системного, ситуационного, логического, диалектического, функционального научных подходов. Применены такие научные методы, как анализ и синтез, монографический, расчетно-конструктивный, балльный, экспертных оценок, бухгалтерского учета.

Результаты (Results)

Экологические проблемы заставили мировое сообщество искать пути их решения. Эти пути заключаются не только в ограничении негативных воздействий предприятий на окружающую среду, но и в разработке и внедрении общих принципов и методов (стандарта) управления качеством окружающей среды, то есть системы экологического менеджмента.

Руководящие принципы внедрения и функционирования системы экологического менеджмента являются предметом серии государственных стандартов Р ИСО 14000, разработанных Техническим комитетом 207 (ТС 207) Международной организации стандартизации (ISO).

Устойчивое развитие нашей страны невозможно без выдержанной и сбалансированной стратегии в экологической сфере. Стратегия национальной безопасности РФ, утвержденная Указом Президента РФ от 02.07.2021 № 400, рассматривает экологическую безопасность как составную часть национальной безопасности. Вопросы экологии образовали один из национальных проектов «Экология».

Ключевые направления, цели и задачи единой государственной экологической политики на законодательном уровне закреплены в «Экологической доктрине РФ» [6]. Одними из важнейших принципов такой политики провозглашены устойчивое развитие, устранение негативных последствий в процессе хозяйственной деятельности на окружающую среду, открытость экологической информации.

Базовыми документами формирования государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности являются Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 «О Стра-

тегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» [7] и Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года [8]. В них определены основные экологические вызовы и угрозы, цели, задачи и механизмы реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности. Большое значение для реализации этой политики отводится таким механизмам, как планирование, контроль, экологический аудит окружающей среды, в том числе в отношении объектов биологических активов.

С 1 марта 2022 г. вступил в силу прорывной для зеленой экономики Федеральный закон «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками» [9]. Он направлен на развитие рынка таких товаров и повышение их доступности для потребителей. Законом предусмотрено использование только безопасных для здоровья человека технологий и сырья при производстве «зеленых» продуктов. Минсельхоз России является правообладателем товарного знака – «Зеленый эталон». В рамках технического комитета по «зеленой» стандартизации, созданного на базе АНО «Роскачество», уже разработано 6 национальных стандартов (в частности, касающихся производства удобрений, производства и хранения продукции, методов определения вредных веществ и т. д.).

Основополагающим стандартом ИСО серии 14000 в России является национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [10]. Стандарт содержит требования к системе экологического менеджмента, соответствие которым является предметом сертификации.

Однако следует отметить, что в литературе существует множество трактовок понятий «экологический менеджмент» (ЭМ) и «система экологического менеджмента» [3; 11–16]. Так, И. В. Гладун, Т. А. Трифонова, Н. В. Селиванова, М. Е., Ильина, С. А. Измалкова, И. Л. Авдеева, Т. А. Головина и др. считают, что «экологический менеджмент – специальная система управления процессом, направленный на сохранение качества окружающей среды, обеспечение нормативных социальных, экологических и экономических параметров» [13; 17]. М. Н. Струкова, Л. В. Струкова, М. Г. Шишов придерживаются мнения, что «ЭМ – это инициативная и результативная деятельность экономических субъектов, направленная на достижение собственных экологических целей, проектов и программ, разработанных на основе принципов экоэффективности и экосправедливости» [12]. Н. В. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер полагают, что «ЭМ представляет собой систему отношений и одновременно совокупность методов, управляющих решением многообразных природно-ресурсных и экологических проблем, возникающих на различных уровнях экономической иерархии [11].

Д. Ю. Двинин, Ю. С. Чуйков, Р. А. Тимаев, Л. Ю. Чуйкова и др. уверяют, что «ЭМ является частью общей системы административного управления, реализующей ценностную ориентацию на достижение устойчивого развития, которая включает в себя оргструктуру, планирование, ответственность, методы, процедуры, процессы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики» [16].

Систему экологического менеджмента Е. А. Васильева, Л. М. Исянов и др. позиционируют как «часть общей системы управления предприятием, направленную на формирование эффективного производственно-территориального комплекса с учетом приоритетов охраны окружающей среды, основанную на концепции устойчивого развития цивилизации» [8].

Согласно ГОСТ Р ИСО 14001-2016, «система ЭМ (EMS) – часть системы менеджмента, используемая для управления экологическими аспектами, выполнения принятых обязательств и учитывающая риски и возможности» [6].

Не подлежит сомнению, что ЭМ является частью общей системы менеджмента как совокупности принципов, методов, средств и форм управления деятельностью. Но как специальный вид менеджмента он имеет направленность на сохранение качества окружающей среды, обеспечение нормативно-правовых экологических параметров и базируется на концепции устойчивого развития. Поэтому считаем более точным первое определение, с включением концепции устойчивого развития: экологический менеджмент – специальная система управления, направленная на сохранение качества окружающей среды, обеспечение нормативно-правовых экологических индикаторов, учитывающая риски и возможности хозяйствующего субъекта и способствующая устойчивому развитию.

Основными задачами ЭМ на предприятиях АПК выступают:

- организация экологически безопасных производственных процессов в растениеводстве, животноводстве и других отраслях АПК [9];
- обеспечение экологической совместимости производства продовольствия;
- предупреждение негативного воздействия на почву в процессе выращивания сельскохозяйственных культур;
- развитие технологии промышленного производства полных комплексов органоминеральных удобрений с использованием органических отходов сельскохозяйственного производства;
- повышение надежности гидросистем сельскохозяйственной техники;
- предотвращение загрязнения водных источников, атмосферы в процессе производства продукции животноводства;

– превращение экологических ограничений в новые возможности роста деятельности в растениеводстве и животноводстве;

– производство органической сельскохозяйственной продукции;

– стимулирование природоохранных инициатив [18].

Ключевым принципом системы экологического менеджмента (СЭМ) в соответствии с международными стандартами ИСО является непрерывное улучшение [19], которое базируется на так называемом цикле Деминга PDCA (планирование (P) – выполнение работ (D) – контроль (C) – корректировка (улучшение) действий (деятельности) (A) (рис. 1).

Как видно из рис. 1, основные блоки или элементы СЭМ (1–4) соотнесены с циклами PDCA.

Общие требования к СЭМ основаны на концепции, предусматривающей периодическое проведение организацией АПК анализа и оценки индикаторов СЭМ в целях определения возможностей ее улучшения. Важными составляющими модели являются внутренние и внешние факторы, потребности и ожидания заинтересованных сторон, которые необходимо учитывать в процессе функционирования СЭМ и выявлять наиболее существенные, требующие реакции и управления. При таком процессном подходе выделяются аспекты деятельности, продукции и услуг, связанные с взаимодействием с природной средой, контроль и реагирование на которые позволяет предотвращать возможные риски.

Высшее руководство организации АПК должно определить основополагающий документ СЭМ – экологическую политику – и взять на себя обязательства по ее реализации и развитию. Согласно стандарту ИСО 14001, «экологическая политика представляет собой ряд принципов, заявленных как обязательства, в которых высшее руководство декларирует намерения организации в области поддержки и улучшения экологических показателей ее деятельности» [10, с. 21]. На ее основе организации АПК устанавливают экологические цели, действуют для их достижения СЭМ, обеспечивая постоянное улучшение.

Наиболее значимым этапом и блоком СЭМ (рис. 2) является планирование достижения экологических целей. Экологический аспект – элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который взаимодействует или может взаимодействовать с окружающей средой [10, с. 6].

Для агропредприятий, например, экологическими аспектами могут являться выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, сбросы и отходы производства, а также экологические аспекты, связанные с реализацией инвестиционных проектов и др. Перечень экоаспектов следует оформить в форме реестра.

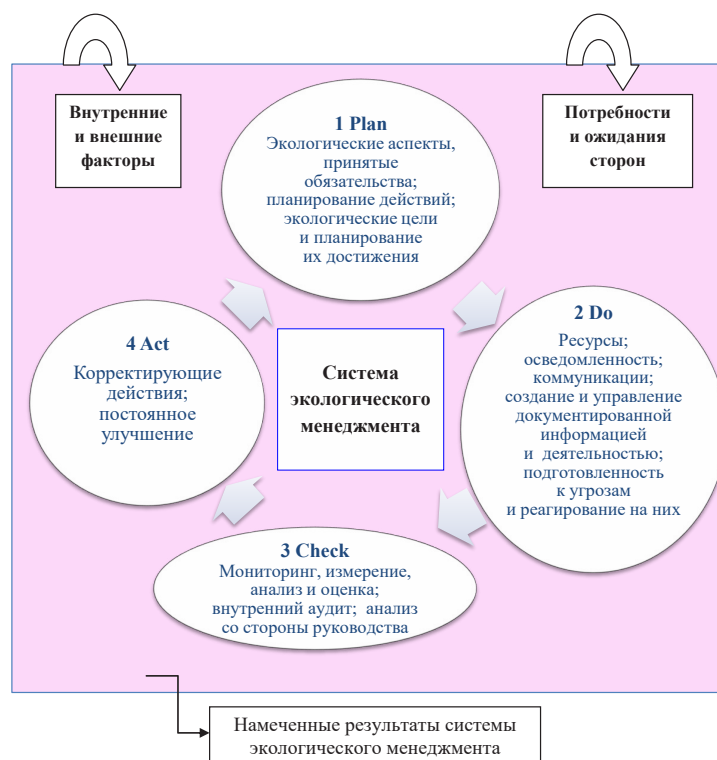


Рис. 1. Структурные элементы блоков системы экологического менеджмента

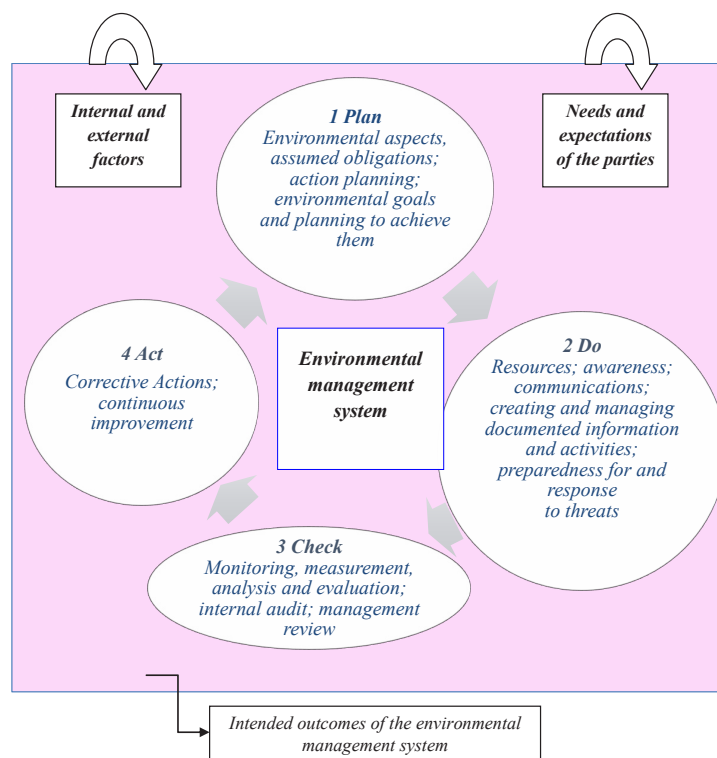


Fig. 1. Structural elements of environmental management system blocks

При определении значимости того или иного экологического аспекта следует принимать во внимание такие факторы, как потенциальный экологический вред; масштаб и частота реализации экологического аспекта; важность экологического аспекта для заинтересованных в работе организации лиц;

требования и нормы экологического законодательства в сфере АПК. Критерии значимости аспекта организация АПК по ISO 14001 устанавливает для себя самостоятельно, основываясь на результатах проводимого регулярно анализа влияния на окружающую среду.

При установлении критериев значимости экологического аспекта организации АПК следует рассмотреть следующие вопросы [10; 17]:

- экологические критерии;
- применимые законодательные требования;
- мнения стейкхолдеров относительно ценностей организации АПК.

Критерии значимости могут быть применены или к экологическим аспектам организации АПК, или к связанным с ними воздействиям. При использовании критериев значимости организации АПК следует установить значения значимости, связанные с каждым из критериев, например, (частота – серьезность). Также при определении значимости могут быть использованы числовые или качественные оценки уровня риска (например, высокий, средний, низкий или нулевой).

Организации АПК целесообразно проводить как раздельную оценку значимости экологических аспектов и связанных с ними воздействий, так и комбинированную оценку результатов по критериям. При этом следует установить, какие экологические аспекты будут значимыми, используя, например, пороговые значения критериев.

Для мониторинга факторов риска (значимых экологических аспектов) организации АПК следует формировать документ управленческого учета в виде перечня, реестра или базы данных.

Идентификация и оценка экологических аспектов хозяйственной деятельности организации АПК, экологических рисков должна осуществляться на основании мониторинга результатов работы за отчетный период, осуществляемых работниками организации АПК; внешними стейкхолдерами в соответствии с элементом «принятые обязательства».

Значимые экологические аспекты могут привести к угрозам или возможностям.

Для оценки воздействия экологических аспектов следует применять индекс воздействия (ИВ), характеризующий степень влияния негативных факторов на окружающую среду [17, с. 85]. Он рассчитывается как произведение трех составляющих:

$$ИВ = K \times P \times O, (1)$$

где K – количественный показатель воздействия (количество, объем воздействия);

P – показатель распространения воздействия;

O – показатель степени опасности воздействия [20].

Каждому экологическому аспекту присваиваются балльные значения по каждому из критериев.

Распределение значимости экологического аспекта, представляющее собой оценку фактора экологического риска, целесообразно осуществлять с применением индекса значимости данного аспекта, то есть интегрального показателя, корректирующего индекс воздействия, в который предлагаем включить коэффициенты, учитывающие в том числе и специфику аграрной сферы:

$$ИЗЭА = ИВ \times K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5, (2)$$

где ИЗЭА – индекс значимости экологического аспекта;

$K1$ – коэффициент значимости местоположения источников воздействия;

$K2$ – коэффициент состояния окружающей среды;

$K3$ – коэффициент соответствия требованиям законодательства и установленным нормативам;

$K4$ – коэффициент учета мнения стейкхолдеров;

$K5$ – коэффициент значимости воздействия на биологические активы.

Каждый экологический аспект, который был признан в качестве значимого, следует взять под управление при помощи одного или нескольких механизмов, предусмотренных в стандарте ISO 14001: ответственный сотрудник, план обучения, процедуры, чек-листы или записи. В соответствии со стандартом, масштаб мер по управлению тем или иным экологическим аспектом должен быть пропорционален характеру риска, который связан с ним.

Для оценки экологических аспектов и управления ими целесообразно составлять единый реестр оценки значимости экологических аспектов организации АПК с указанием шкалы оценки. Пример фрагмента документа для агропредприятия представлен в виде таблиц 1, 2. Индекс воздействия и коэффициенты значимости определены в соответствии с формулами (1) и (2).

На основе единого реестра оценки значимости экологических аспектов организации АПК следует формировать отчет по управлению значимыми экологическими аспектами, который будет использоваться при проведении внутреннего экологического аудита.

В агропредприятии к значимым экологическим аспектам, которые могут привести к экологическим рискам, следует отнести сбросы сточных вод. В стандарте обозначено, что компания вправе сама выбрать метод, который она будет использовать для установления (определения) ее рисков и возможностей. Он может быть основан на простом качественном подходе или на полноценной количественной оценке в зависимости от условий, в которых функционирует организация АПК.

Так, для устранения вредных экологических аспектов ООО «Агрофирма Трио» следует разработать и осуществить мероприятия:

- 1) использование механических, химических и биологических методов очистки навозной жижи;
- 2) вынос складских объектов, а также объектов переработки сельхозпродукции из водоохраных зон водоемов и водотоков;
- 3) применение почвозащитных технологий в растениеводстве, сокращающих смыв поверхностного слоя, восстановление лесозащитных полос вдоль рек;

Таблица 1

Единый Реестр оценки значимости экологических аспектов ООО «Агрофирма Трио»

Экономика

№ п/п	Экологический аспект		Количество воздействия (ед. изм.)	Индекс воздействия				Коэффициенты значимости					Индекс значимости экологического аспекта (ИЗЭА)
	Наименование аспекта	Зона воздействия		К	Р	О	ИВ	К1	К2	К3	К4	К5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Выходные потоки													
1	Выброс загрязняющих веществ в атмосферу	Углеводороды	–	1	2	2	4	1	1	1	1	1,5	6
2		Сажа	–	1	2	2	4	1	1	1	1	1,5	6
3		Оксид углерода	–	2	2	2	8	1	1	1	1	1,5	12
4	Образование отходов	Отходы ферм	–	2	1	2	4	1	1	1	2	1,5	12
5		Глина, лом кирпича	–	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
6		Отходы от бумаги и картона	–	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
7	Сбросы сточных вод	Сульфаты	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
8		Хлориды	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
9		Пестициды	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
10	Нарушение почв	Уплотнение почвы	–	2	2	2	8	1	1	2	1	1	16
11		Химизация	–	2	2	2	8	1	1	1	2	1	16
Входные потоки													
12	Потребление водных ресурсов	Потребление питьевой воды	4760 куб. в год	1	2	1	2	1	1	1	1	2	4
13		Потребление воды для полива	–	1	2	2	4	1	1	1	1	2	8
14	Потребление энергетических ресурсов	Потребление электроэнергии	2 417 060 кВт в год	3	3	1	9	1	1	1	1	1	9

Table 1

Unified Register for assessing the significance of environmental aspects of "Agrofirma Trio" LLC

No.	Environmental aspect		Impact volume (unit)	Impact Index				Significance coefficients					Environmental significance index (ESI)
	Aspect name	Impact area		V	S	H	II	C1	C2	C3	C4	C5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Output flows													
1	Emission of pollutants into the atmosphere	Hydro-carbons	–	1	2	2	4	1	1	1	1	1,5	6
2		Soot	–	1	2	2	4	1	1	1	1	1,5	6
3		Carbon oxide	–	2	2	2	8	1	1	1	1	1,5	12
4	Waste generation.	Waste on the farms	–	2	1	2	4	1	1	1	2	1,5	12
5		Clay, scrap brick	–	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
6		Waste from paper and cardboard	–	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
7	Waste-water discharges	Sulfates	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
8		Chlorides	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
9		Pesticides	–	3	2	2	12	1	1	1	2	1	24
10	Soil disturbance	Soil compaction	–	2	2	2	8	1	1	2	1	1	16
11		Chemicalization	–	2	2	2	8	1	1	1	2	1	16
Input flows													
11	Consumption of water resources	Drinking water consumption	4760 cubic meters annually	1	2	1	2	1	1	1	1	2	4
12		Water consumption for irrigation	–	1	2	2	4	1	1	1	1	2	8
13	Consumption of energy resources	Electricity consumption	2 417 060 kWh per year	3	3	1	9	1	1	1	1	1	9

Таблица 2

Шкала оценки индекса значимости экологического аспекта

Чрезвычайно высокий > 30	Высокий 19–30	Повышенный 8–19	Незначительный 8
-----------------------------	------------------	--------------------	---------------------

Table 2

The scale for assessing the significance of the environmental aspects

Extremely high > 30	High 19–30	Elevated 8–19	Moderate 8
------------------------	---------------	------------------	---------------

Таблица 3

Аналитический регистр оценки экологической безопасности ООО «Агрофирма Трио» за 2022 г.

Показатели	Факт 2022 г.	Балл	План 2022 г.	Балл
Удельный выброс углекислого газа на единицу продукции	0,0035	6,8	0,024	10
Удельная энергоёмкость, мДж / тыс. тонн	2,03	8,9	1,81	10
Рентабельность экологической деятельности, %	2,6	4,2	6,2	10
Экологическая нагрузка	0,0045	10	0,005	10
Степень соответствия сотрудников профессиональным требованиям, %	36	3,6	100	10
Доля сверхлимитных платежей в структуре экологических затрат, %	2,8	7,2	0	10
% выполнения плана достижения экологических целей	62	6,2	100	10
Итого	×	46,9	×	70

Table 3

Analytical registers for assessing environmental safety of "Agrofirma Trio" LLC for 2022

Indicators	Fact 2022	Points	Plan 2022	Points
Specific carbon dioxide emissions per unit of production	0.0035	6.8	0.024	10
Energy consumption per unit, mJ/thousand tons	2.03	8.9	1.81	10
Profitability of environmental activities, %	2.6	4.2	6.2	10
Environmental load	0.0045	10	0.005	10
Degree of employee compliance with professional requirements, %	36	3.6	100	10
Share of above-limit payments in environmental costs, %	2.8	7.2	0	10
% of implementation of the plan to achieve environmental goals	62	6.2	100	10
Total	×	46.9	×	70

4) применение менее опасных для окружающей среды средств защиты растений, более эффективное использование минеральных удобрений;

5) запрет использования неисправной сельскохозяйственной техники на объектах ООО «Агрофирма Трио».

Экологические аспекты, характеризующиеся низкой степенью воздействия на окружающую среду, не требуют разработки природоохранных мер.

Выявленные риски и возможности являются исходной информацией («входом») к действиям по планированию и установлению экологических целей.

К признакам, которые свидетельствуют о том, что в организации АПК сложился достаточно высокий уровень экологического риска, относят:

- наличие отчетов, подготовленных специалистами в экологической сфере, внутренними аудиторами, в которых фиксируются экологические проблемы;

- нарушение законов и нормативных актов в области охраны окружающей среды, о которых имеются упоминания в отчетах природоохранных и контролирурующих органах;

- негативные комментарии в СМИ, имеющие отношение к организации АПК, и т. п. [14]

В рамках установления форм и подробного порядка оценки экологических рисков в крупной компании АПК следует разработать соответствующий локальный нормативный документ – Положение по оценке экологических рисков. Положение может служить и документированной информацией СЭМ.

Как было отмечено ранее, на основе оценки значимости аспектов с учетом рисков и возможностей формулируются экологические цели и задачи, которые должны быть по возможности количественными, для формирования индикаторов оценки.

Для достижения поставленных целей организация АПК должна разработать программу ЭМ, в которой необходимо указать ответственных лиц, ресурсы, средства и сроки для достижения целей и задач. Там же следует представить программу обучения и внутреннего информационного взаимодействия [10].

Для оценки результатов достижения целевых экологических показателей следует установить критерии оценки экологической эффективности,

которые позволяют оценить результаты функционирования СЭМ и осуществить необходимые корректирующие действия [10, 19].

Для оценки результативности принятых действий в СЭМ можно использовать приемы аудита. Для проведения внутреннего экологического аудита представляется целесообразным использовать программное обеспечение «1С:Экология». Внедрение программной конфигурации «1С:Экология» позволит автоматизировать процессы учета и планирования контрольных мероприятий, а также формирования экологической отчетности в соответствии с аграрной спецификой и законодательными нормами РФ. В программной установке «1С:Экология» реализована возможность формирования планов проведения контрольных процедур, а также планирования мероприятий для устранения выявленных нарушений.

При внедрении в организации АПК «1С:Экология» упрощается решение контрольных задач в СЭМ.

Для этапа «Мониторинг, измерения, анализ и оценивание» предлагаем использовать аналитический регистр, позволяющий комплексно оценить экологическую безопасность организации АПК, обеспечение которой является целью СЭМ. Пример регистра представлен в таблице 3.

На основании данных таблицы 3 установлено, что экологическую безопасность ООО «Агрофирма Трио» в 2022 г. можно оценить, как среднюю, поскольку набранная сумма баллов составляет 67 % от запланированной, что обусловлено недостиже-

нием экологических целей экологической политики, превышением удельного выброса CO₂ на единицу сельскохозяйственной продукции, повышенной энергоемкостью продукции, снижением рентабельности, недостаточным уровнем профессиональной подготовки сотрудников агрофирмы в области охраны окружающей среды.

На основании выявленных несоответствий необходимо разработать предложения и мероприятия по совершенствованию СЭМ для обеспечения экологической безопасности ООО «Агрофирма Трио».

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)
Согласно классификации ООН, сельское хозяйство входит в топ-5 отраслей экономики по уровню ущерба, наносимого экологии, хотя и уступает в этом плане наиболее «грязным» – транспорту, энергетике и промышленности [21]. СЭМ служит основой для формирования конкурентоспособного, устойчивого, ответственного бизнеса, способного удовлетворить растущие потребности клиентов и ожидания общественности, снижающего углеродный след.

Предложенные методические подходы к совершенствованию элементов СЭМ в организациях АПК будут способствовать улучшению ее качества, унификации процессов, связанных с управлением экологической деятельностью, позволят обеспечить реализацию целей экологической политики, снизить уровень угроз экологической безопасности в сферах производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, повысить устойчивость развития предприятий АПК.

Библиографический список

1. Vehviläinen I. Greed is good? Of equilibrium impacts in environmental regulation // Journal of Environmental Economics and Management. 2023. Vol. 122. Article number 102892. DOI: 10.1016/j.jeem.2023.102892.
2. Sancak I. E. Change management in sustainability transformation: a model for business organizations // Journal of Environmental Management. 2023. Vol. 330. Article number 117165. URL: DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.117165.
3. Двинин Д. Ю., Даванков А.Ю. Влияние альтернативных источников энергии на социо-эколого-экономическую сбалансированность регионов: монография. Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2022. 126 с.
4. Костылев И. А., Яшалова Н. Н. Экологический менеджмент в системе управления развитием предприятия: современные тенденции // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2023. № 2. С. 113–121.
5. Trukhachev V. I., Khoruzhy L. I., Tryastsina N. Y. Accounting and Analytical Support in Integrated Reporting / V. I. Trukhachev (eds.). Unlocking Digital Transformation of Agricultural Enterprises. Innovation, Technology, and Knowledge Management. Cham. Springer, 2023. Pp. 275–282.
6. Экологическая доктрина РФ: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.08.2002 г. № 1225-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/43014> (дата обращения: 16.01.2024).
7. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/111285> (дата обращения: 16.01.2024).
8. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года: утв. Президентом Российской Федерации 30.04.2012 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70069264/?ysclid=lrqj7f15sp291587478> (дата обращения: 16.01.2024).

9. О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками: Федеральный закон от 11.06.2021 г. № 159-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400788577/?ysclid=lrqjnk6ub860040707> (дата обращения: 16.01.2024).

10. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению: Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2016 г. N 285-ст. [Электронный ресурс]. URL: <https://mskstandart.ru/upload/file/gost-r-iso-14001-2016.pdf> (дата обращения: 16.01.2024).

11. Морозова Е. Н., Антропов В. А., Журавская М. А. [и др.] Экологический менеджмент как основа для обновления компании. Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2019. 126 с.

12. Пахомова Н. В., Рихтер К. К., Малышков Г. Б., Хорошавин А. В. Экономика природопользования и экологический менеджмент: учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2023. 417 с.

13. Струкова М. Н., Струкова Л. В. Экологический менеджмент и аудит: учебное пособие для вузов. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. 113 с.

14. Васина М. В., Холкин Е. Г. Экологический менеджмент и аудит: учебное пособие. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2023. 126 с.

15. Святохо Н. В., Тимаев Р. А. Система экологического менеджмента промышленного предприятия: сущность, стандарты, этапы внедрения // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2020. № 1 (50). С. 178–186.

16. Разумовская Д. В. Система экологического менеджмента как значимый элемент организационного обеспечения процесса модернизации водоочистных систем предприятий целлюлозно-бумажной промышленности [Электронный ресурс] // Вектор экономики. 2020. № 5 (47). С. 103. URL: <http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2020/5/economicsmanagement/Razumovskaya.pdf> (дата обращения: 16.01.2024).

17. Гладун И. В., Мудрак К. В. Оценка значимости экологических аспектов на предприятиях аквакультуры // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы XI научно-практической конференции с международным участием. Хабаровск, 2022. Т. 11. С. 84–88.

18. Abid A., Majeed M.T., Luni T. Analyzing Ecological Footprint through the Lens of Globalization, Financial Development, Natural Resources, Human Capital and Urbanization // Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences. 2021. Vol. 15 (4). Pp. 765–795.

19. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/60857.html> (дата обращения: 16.01.2024).

20. Система экологического менеджмента. Идентификация и оценка экологических аспектов: СТО Газпром недр 7.1-2021. Утв. Приказом генерального директора ООО «Газпром недр» от 24 сентября 2021 г. № 464-ПП [Электронный ресурс]. URL: <https://nedra.gazprom.ru/ecology> (дата обращения: 17.01.2024).

21. Food and Agriculture Statistics // Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/food-agriculture-statistics> (дата обращения: 18.01.2024).

Об авторах:

Нина Юрьевна Трясцина, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности и права, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-5600-624X, AuthorID 454873.

E-mail: ntryastina@rgau-msha.ru

Никита Антонович Трясцин, аспирант кафедры бухгалтерского учета, финансов и налогообложения, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия; ORCID 0009-0009-8311-3927, AuthorID 1230119.

E-mail: nikitaantonio@mail.ru

References

1. Vehviläinen I. Greed is good? Of equilibrium impacts in environmental regulation. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2023; 122: 102892. DOI: 10.1016/j.jeem.2023.102892.

2. Sancak I. E. Change management in sustainability transformation: a model for business organizations. *Journal of Environmental Management*. 2023; 330: 117165. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.117165.

3. Dvinin D. Yu., Davankov A. Yu. *The influence of alternative energy sources on the socio-ecological-economic balance of regions: a monograph*. Chelyabinsk: Publishing house of Chelyabinsk State University, 2022. 126 p. (In Russ.)

4. Kostylev I. A., Yashalova N. N. Environmental management in the enterprise development management sys-

tem: current trends. *Scientific journal NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*. 2023; 2: 113–121. (In Russ.)

5. Trukhachev V. I., Khoruzhy L. I., Tryastsina N. Y. Accounting and Analytical Support in Integrated Reporting. *Unlocking Digital Transformation of Agricultural Enterprises. Innovation, Technology and Knowledge Management* / V. I. Trukhachev (ed.). Cham. Springer, 2023. Pp. 275–282.

6. *Environmental doctrine of the Russian Federation*: Order of the Government of the Russian Federation dated August 31, 2002 No. 1225-r. [Internet] [cited 2024 Jan 16]. Available from: <http://government.ru/docs/all>. (In Russ.)

7. *On the Environmental Safety Strategy of the Russian Federation for the period until 2025*: Decree of the President of the Russian Federation dated April 19, 2017. No. 176 [Internet] [cited 2024 Jan 16]. Available from: <http://government.ru/docs/all/111285>. (In Russ.)

8. *Fundamentals of state policy in the field of environmental development of Russia for the period until 2030*: approved by the President of the Russian Federation 04.30.2012 [Internet] [cited 2024 Jan 16]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70069264/?ysclid=lrqj7f15sp291587478>. (In Russ.)

9. *On agricultural products, raw materials and food with improved characteristics*: Federal Law of June 11.06.2021 No 159-FZ [Internet] [cited 2024 Jan 16]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400788577/?ysclid=lrqjjnk6ub860040707>. (In Russ.)

10. *Environmental management systems. Requirements and instructions for use: National standard of the Russian Federation GOST R ISO 14001-2016*. Approved By Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated April 29, 2016 No 285-st. Available from: <https://mskstandart.ru/upload/file/gost-r-iso-14001-2016.pdf>. (In Russ.)

11. Morozova E. N., Antropov V. A., Zhuravskaya M. A., et al. *Environmental management as a basis for company renewal*. Ekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 2019. 126 p. (In Russ.)

12. Pakhomova N. V., Rikhter K., Malyshev G. B., Khoroshavin A. V. *Environmental economics and environmental management: a textbook for universities*. Moscow: Yurayt, 2023. 544 p. (In Russ.)

13. Strukova M. N., Strukova L. V. *Environmental management and audit: a textbook for universities*. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2019. 113 p. (In Russ.)

14. Vasina M. V., Kholkin E. G. *Environmental management and audit: a textbook for universities*. Moscow: Ay Pi Ar Media, 2023. 126 p. (In Russ.)

15. Svyatokho N. V., Timaev R. A. The environmental management system of industrial enterprise: concept, standards and implementation stages. *Nauchnyy vestnik: finansy, banki, investitsii*. 2020; 1 (50): 178–186. (In Russ.)

16. Razumovskaya D. V. Ecological management system as a valuable element of organizational support of the process of modernization of water treatment systems of the pulp and paper industry. *Vektor Economy* [Internet]. 2020 [cited 2024 Jan 16]; 5 (47). Available from: <http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2020/5/economicsmanagement/Razumovskaya.pdf>. (In Russ.)

17. Gladun I. V., Mudrak K. V. Assessing the significance of environmental aspects at aquaculture enterprises. *Philosophy of modern environmental management in the Amur River basin: materials of the XI scientific and practical conference with international participation*. Khabarovsk, 2022. Vol. 11. Pp. 84–88. (In Russ.)

18. Abid A., Majeed M. T., Luni T. Analyzing Ecological Footprint through the Lens of Globalization, Financial Development, Natural Resources, Human Capital and Urbanization. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*. 2021; 15 (4): 765–795.

19. *ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use: International standard* [Internet] [cited 2024 Jan 16]. Available from: <https://www.iso.org/standard/60857.html>.

20. Environmental management system. Identification and assessment of environmental aspects: STO Gazprom Nedra 7.1-2021. Approved By order of the General Director of Gazprom Nedra LLC dated September 24, 2021 No. 464-PR [Internet] [cited 2024 Jan 17]. Available from: <https://nedra.gazprom.ru/ecology>. (In Russ.)

21. Food and Agriculture Statistics. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [Internet] [cited 2024 Jan 18]. Available from: <https://www.fao.org/food-agriculture-statistics>.

Authors' information:

Nina Yu. Tryastsina, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economic security and law, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-5600-624X, AuthorID 454873. *E-mail*: ntryastsina@rgau-msha.ru

Nikita A. Tryastin, postgraduate of the department of accounting, finance and taxation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia; ORCID 0009-0009-8311-3927, AuthorID 1230119. *E-mail*: nikitaantonio@mail.ru

О факторах обеспечения урожаев подсолнечника в регионах России

К. В. Штоколова[✉], О. С. Фомин

Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова, Курск, Россия

[✉]E-mail: karina.shtokolova@mail.ru

Аннотация. Цель. Исследование направлено на изучение путей повышения урожаев подсолнечника в регионах России за счет интенсификации производства или перераспределения посевных площадей в пользу подсолнечника от других культур. **Методология и методы.** Исследование проводилось с использованием горизонтального и вертикального анализа, статистических и экономических методов анализа. **Результаты.** На основе проведенной группировки определены основные направления обеспечения урожаев подсолнечника в регионах России в разрезе географического аспекта. Выявлены территории, для которых способом обеспечения урожаев является интенсификация при сравнительно небольшом размере посевов культуры в общей структуре посевных площадей. Для других экономических районов страны основным способом расширения валовых сборов подсолнечника остается экстенсивный фактор, что является следствием больших площадей пашни, которые возможно задействовать под посевы культуры без ущерба для других растениеводческих направлений. **Научная новизна** заключается в формировании групп регионов по предложенному авторами подходу к оценке результатов производства подсолнечника, основанном на группировке регионов по двум факторам: уровню урожайности культуры и ее доле в структуре посевов.

Ключевые слова: возделывание подсолнечника, природно-экономический потенциал, структура посевных площадей, урожайность, интенсификация, экстенсивный фактор

Для цитирования: Штоколова К. В., Фомин О. С. Изучение путей обеспечения урожаев подсолнечника в регионах России // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 05. С. 693–702. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-693-702>.

Дата поступления статьи: 19.09.2023, **дата рецензирования:** 30.10.2023, **дата принятия:** 11.01.2024.

On the factors of ensuring sunflower harvests in the regions of Russia

K. V. Shtokolova[✉], O. S. Fomin

Kursk State Agricultural University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia

[✉]E-mail: karina.shtokolova@mail.ru

Abstract. The purpose. The research is aimed at studying ways to ensure sunflower harvests in the regions of Russia through increased intensification or redistribution of acreage in favor of sunflower from other crops. **Methodology and methods.** The study was conducted using a horizontal and vertical analysis, statistical and economic methods of analysis. **Results.** Based on the conducted grouping, the main directions of ensuring sunflower harvests in the regions of Russia in the context of the geographical aspect have been identified. The territories have been identified for which the method of ensuring yields is intensification with a relatively small size of crops in the total structure of acreage. For other economic regions of the country, the main way to expand the gross sunflower harvest remains the extensive factor, which is a consequence of the large areas of arable land that can be used for crops without prejudice to other crop areas. **The scientific novelty** lies in the formation of groups of regions according to the approach proposed by the authors to assess the results of sunflower production, based on the grouping of regions by two factors – the level of crop yield and its share in the structure of crops.

Keywords: sunflower cultivation, natural and economic potential, structure of acreage, yield, intensification, extensive factor

For citation: Shtokolova K. V., Fomin O. S. On the factors of ensuring sunflower harvests in the regions of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (05): 693–702. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-05-693-702>. (In Russ.)

Date of paper submission: 19.09.2023, **date of review:** 30.10.2023, **date of acceptance:** 11.01.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В отечественном растениеводстве основными культурами по-прежнему остаются зерно и сахарная свекла фабричная, посевные площади и валовые сборы которых являются наиболее значительными [1]. Однако изменение внешнеполитической обстановки актуализировало курс на наращивание продовольственной безопасности, что стало фактором динамичного развития АПК и его отдельных отраслей с целью достижения высокого уровня самообеспечения по всем ключевым направлениям [2; 3].

Одним из динамично развивающихся в последние годы был масложировой подкомплекс. Выросло производство сои, арахиса, подсолнечника, что связано с их высокой практической значимостью в пищевой промышленности в качестве как самостоятельных продуктов, так и сырья для дальнейшей переработки [4; 5]. Результативность производства растительных масел во многом зависит от качества используемого сырья и технологии переработки маслосемян [6]. Для производства растительных масел наиболее целесообразно использовать сорта, обладающие высоким содержанием масел и имеющие определенные характеристики, такие как размер семян, толщина кожуры, что предопределяет особенности их обработки [7]. Основной технологией, применяемой сегодня для производства растительных масел, является экстракция с использованием органических растворителей [8; 9].

Масличные культуры дают ценные растительные масла для внутреннего потребления и внешнего рынка, обладают высоким экспортным потенциалом. Однако санкционные ограничения привели к снижению поставок масличных культур и продуктов их переработки на внешний рынок, тем самым способствуя затовариванию и снижению цен на внутреннем рынке, что актуализирует соблюдение баланса и повышение спроса для поддержания развития данного направления [10; 11].

Среди масличных культур в России первостепенное значение имеет подсолнечник, что обусловлено не только его полезными пищевыми свойствами, но и особенностями возделывания и переработки данной культуры [12; 13]. Природно-климатические условия страны и ее отдельных регионов (Юга и Приволжья) являются благоприятными для высокопродуктивного производства маслосемян подсолнечника. Кроме того, к числу ключевых особенностей

данной культуры относится устойчивость к неблагоприятным факторам и высокая рентабельность производства, что предопределяет экономический интерес со стороны аграриев [14; 15]. Однако территориальная протяженность страны, дифференциация объема ресурсов и условий ведения сельского хозяйства формируют неравный уровень результативности возделывания подсолнечника даже внутри одного экономического района или округа [16; 17]. Зачастую в регионах с высоким аграрным потенциалом и возможностями обеспечения интенсификации производства подсолнечника существует дефицит посевных площадей [18; 19]. Это существенно ограничивает развитие данного направления и актуализирует поиск путей обеспечения высоких урожаев с учетом специфических особенностей территорий возделывания культуры [20; 21].

Цель исследования – изучить пути обеспечения урожаев подсолнечника в регионах России путем повышения интенсификации или перераспределения посевных площадей в пользу подсолнечника от других культур.

Методология и методы исследования (Methods)

В ходе проведения исследования были использованы статистические данные об основных показателях выращивания подсолнечника в России в 2020 и 2022 годах, на основе которых проведен комплексный анализ развития производства культуры в разрезе территориального аспекта. Выбор 2020 года в качестве базисного периода исследования обусловлен сопутствующим началу пандемии спадом в агропромышленном комплексе (АПК), а сопоставление с данными за 2022 год позволит выявить произошедшие в период выхода из кризиса изменения в отрасли.

На первом этапе исследования проводилась сравнительная оценка выращивания подсолнечника в разрезе территориального деления по федеральным округам страны, что позволяет выявить вклад каждого округа в общий объем производства культуры в стране и определить преимущественное географическое размещение возделывания подсолнечника.

На втором этапе исследования была проведена группировка регионов России по критериям уровня урожайности и удельного веса культуры в структуре посевной площади в 2022 году. При этом для целей исследования были отобраны только те реги-

оны, в которых размер посевных площадей подсолнечника превышает 50 тыс. га. Градация по уровню урожайности производилась в зависимости от среднего по стране уровня результативности возделывания подсолнечника – 17,8 ц/га. По критерию удельного веса подсолнечника в структуре посевной площади региона группировка произведена также в разрезе среднего по стране уровня, который составил 11,2 %. В результате сформировано 4 группы регионов, для которых были рассчитаны групповые показатели производства подсолнечника.

Исследование проводилось с использованием ряда методов и подходов, среди которых основными стали горизонтальный и вертикальный анализ, статистические и экономические методы анализа.

Результаты (Results)

Удельный вес подсолнечника в России в общем объеме посевных площадей составляет чуть более 11 %, при этом валовой сбор культуры превысил 16,4 млн т в 2022 году. В федеральных округах страны сохраняется существенная дифференциация по объемам валового сбора подсолнечника, а

устойчивым лидером является Приволжский федеральный округ (ПФО), где в 2022 году было собрано 6,18 млн т маслосемян, что выше уровня 2020 года почти на 28 %. Вторым по размерам валовых сборов подсолнечника является Южный федеральный округ (ЮФО), где валовой сбор культуры в 2022 году составил 4,6 млн т. Среди прочих округов страны наибольшую динамику роста валовых сборов показывает Уральский федеральный округ (УФО), где прирост за 3 года составил 1,3 раза, а также Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО), где валовой сбор вырос на 69 % – до 669 тыс. т. В Сибирском федеральном округе (СФО) валовой сбор подсолнечника в сопоставляемых периодах вырос на 38,8 %. Удельный вес регионов ПФО в общем объеме валового сбора подсолнечника к 2022 году вырос до 38 %, а ЮФО – до 28,1 %. Доля регионов Центрального федерального округа (ЦФО) за 3 года снизилась на 5,1 % и составила 23 %, что связано с несущественным ростом физического объема выращивания подсолнечника в регионе в сравнении с прочими округами (таблица 1).

Таблица 1

Основные показатели производства подсолнечника в федеральных округах России (2020–2022 гг.)

Округ	Доля культуры в структуре посевной площади в 2022 году, %	Валовой сбор подсолнечника, тыс. т			Доля в структуре валового сбора культуры, %		
		2020 г.	2022 г.	Изменение, %	2020 г.	2022 г.	Процентные пункты
РФ, всего	11,2	13314,4	16356,6	22,8	100	100	–
ПФО	16,7	4839,8	6183,2	27,8	36,4	37,8	1,5
ЮФО	16,5	3571	4601,9	28,9	26,8	28,1	1,3
ЦФО	9,3	3739,8	3764,6	0,7	28,1	23,0	–5,1
СФО	5,5	693	962,1	38,8	5,2	5,9	0,7
СКФО	7,7	396,3	668,9	68,8	3,0	4,1	1,1
УФО	3,4	74,6	170,1	128,1	0,6	1,0	0,5

Источник: Росстат.

Table 1

The main indicators of sunflower production in the federal districts of Russia (2020–2022)

District	The share of culture in the structure of the sown area in 2022, %	Gross sunflower harvest			Share in the structure of the gross harvest of culture, %		
		2020	2022	Change, %	2020	2022	Percentage points
Russian Federation, total	11.2	13314.4	16356.6	22.8	100	100	–
Volga Federal District	16.7	4839.8	6183.2	27.8	36.4	37.8	1.5
Southern Federal District	16.5	3571	4601.9	28.9	26.8	28.1	1.3
Central Federal District	9.3	3739.8	3764.6	0.7	28.1	23.0	–5.1
Siberian Federal District	5.5	693	962.1	38.8	5.2	5.9	0.7
North Caucasian Federal District	7.7	396.3	668.9	68.8	3.0	4.1	1.1
Ural Federal District	3.4	74.6	170.1	128.1	0.6	1.0	0.5

Source: Federal State Statistics Service of the Russian Federation.

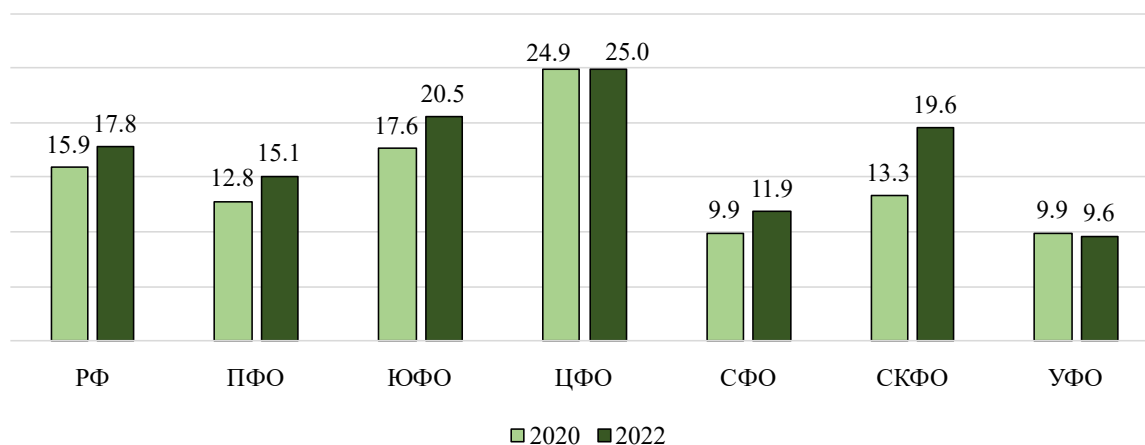


Рис. 1. Сравнение урожайности подсолнечника в федеральных округах России, ц/га

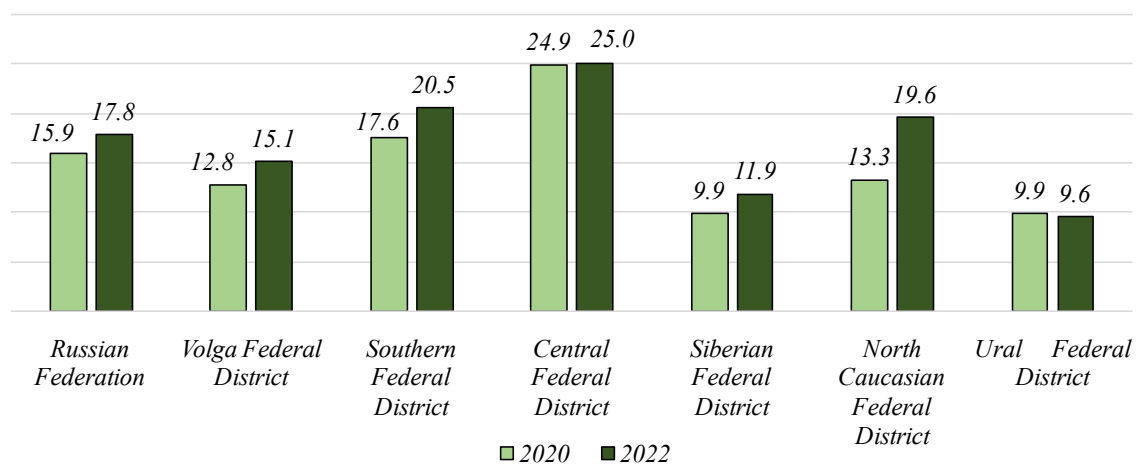


Fig. 1. Comparison of sunflower yield in the federal districts of Russia, c/ha

Средний уровень урожайности культуры в России за последние 3 года вырос с 15,9 % до 17,8 %. По уровню урожайности подсолнечника устойчиво лидируют регионы ЦФО, где с 1 га посевов собиралось около 25 ц маслосемян как в базисном, так и в отчетном периоде. Для оставшихся округов страны общей тенденцией является рост урожайности подсолнечника к 2022 году, при этом наиболее высокая результативность отмечается в ЮФО и СКФО, где с 1 га посевов сбор культуры к 2022 году вырос до 19–21 ц. В лидирующем по валовому сбору ПФО урожайность культуры является достаточно низкой и к 2022 году выросла до 15,1 ц/га. Это свидетельствует о том, что высокий физический объем сбора подсолнечника обусловлен размером посевных площадей. Единственным округом с тенденцией к снижению урожайности является УФО, где с 1 га собиралось менее 10 ц маслосемян (рис. 1).

Среди регионов России, в которых осуществляется возделывание подсолнечника, для целей группировки были отобраны наиболее крупные регионы – те, где объем посевной площади культуры в 2022 году превысил 50 тыс. га. На основе корреляционно-регрессионного анализа установлено, что среди рассматриваемых регионов корреляционная

связь между урожайностью и посевной площадью культуры является слабой и обратной, поэтому оценку развития производства подсолнечника и его территориального размещения целесообразно проводить на основе совокупного рассмотрения степени специализации и интенсификации. Индикатором специализации на производстве подсолнечника является удельный вес культуры в общей структуре посевных площадей региона, при этом в качестве критерия градации принят уровень в 10 %. Индикатором степени интенсификации производства выступает уровень урожайности подсолнечника, при этом критерием градации является средний по стране уровень – 17,8 ц/га.

В результате было сформировано 4 группы регионов возделывания подсолнечника, а именно:

- 1) группа с долей культуры более 11 % в структуре посевов и урожайностью выше средней по стране уровня;
- 2) группа с долей культуры более 11 % в структуре посевов и урожайностью ниже средней по стране уровня;
- 3) группа с долей культуры менее 11 % в структуре посевов и урожайностью выше средней по стране уровня;

Основные показатели групп регионов по уровню специализации и интенсификации производства подсолнечника (2022 г.)

Параметры	Доля подсолнечника в структуре посевов			
	Более 11 %		Менее 11 %	
	Урожайность подсолнечника			
	Выше средней	Ниже средней	Выше средней	Ниже средней
Число регионов в группе	8	6	4	4
Посевная площадь, тыс. га	3292	4368,2	575,2	664,4
Валовой сбор, тыс. т	7455,6	6343,7	1224,3	935,9
Доля группы в валовом сборе, %	45,6	38,8	7,5	5,7
Среднегрупповое значение уровня урожайности, ц/га	23,3	14,9	21,9	13,6

Источник: составлено автором.

Table 2

The main indicators of the groups of regions by the level of specialization and intensification of sunflower production (2022)

Parameters	The share of sunflower in the structure of crops			
	More than 11 %		Less than 11 %	
	Sunflower yield			
	Above average	Below average	Above average	Below average
Number of regions in the group	8	6	4	4
Acreage, thousand hectares	3292	4368.2	575.2	664.4
Gross harvest, thousand tons	7455.6	6343.7	1224.3	935.9
Group's share in gross harvest, %	45.6	38.8	7.5	5.7
The average group value of the yield level, c/ha	23.3	14.9	21.9	13.6

Source: compiled by the author.

4) группа с долей культуры менее 11 % в структуре посевов и урожайностью ниже средней по стране уровня.

В группу с показателями возделывания подсолнечника выше среднего по стране уровня вошли 8 регионов, суммарный объем посевной площади которых составил 3,29 млн га, а валовой сбор – 7,46 млн т, что равно 45,6 % от общего объема производства культуры в стране. При этом средний уровень урожайности в данной группе также является наиболее высоким – 23,2 ц/га.

Во вторую группу регионов с урожайностью ниже средней вошли 6 субъектов, суммарная посевная площадь подсолнечника в которых в 2022 году составила 4,37 млн га, а валовой сбор – 6,34 млн т. Средний уровень урожайности подсолнечника в данной группе в 1,5 раза ниже, чем в наиболее результативной, и составил 14,9 ц/га.

В две группы регионов с более низкими результатами возделывания подсолнечника в общей структуре вошли по 4 региона в каждую, при этом посевная площадь культуры в них составляет менее 1 млн га. Суммарный валовой сбор в группе регионов с урожайностью подсолнечника выше средней по стране составил 1,22 млн т, при этом средний уровень урожайности равен 21,9 %. В группе с урожайностью ниже средней по стране уровня совокупный валовой сбор составил 936 тыс. т, а средняя урожайность достигла 13,6 % (таблица 2).

В группы регионов с урожайностью подсолнечника выше средней входят преимущественно

субъекты Южного и Центрального федеральных округов, при этом устойчивыми лидерами являются входящие в состав ЮФО Ростовская и Волгоградская области, а также Краснодарский край. В группу регионов с урожайностью подсолнечника ниже средней входят преимущественно регионы ПФО.

Необходимо отметить, что в регионах ЦФО, несмотря на дифференциацию по доле культуры в структуре посевов, уровень урожайности заметно выше среднего по стране уровня. В свою очередь, в регионах ПФО, несмотря на большой вклад в производство подсолнечника, уровень урожайности ниже среднего по стране значения (таблица 3).

Говоря о территориальном распределении выращивания подсолнечника, можно выделить регионы ЮФО (особенно лидеров – Ростовскую, Волгоградскую области и Краснодарский край), которые показывают наилучшие результаты и характеризуются высокой урожайностью культуры. На второй позиции – регионы ЦФО, которые при урожайности выше среднего по стране значения и достаточном удельном весе культуры в общей структуре посевов дают хороший результат. Также можно отметить и регионы ПФО, которые в целом также имеют достаточно высокий аграрный потенциал, однако здесь успехи выращивания подсолнечника обусловлены большим объемом посевных площадей, что при достаточно низком уровне урожайности в совокупности позволяют получать большой валовой сбор культуры.

Таблица 3

Группы регионов России по уровню специализации и интенсификации производства подсолнечника (2022 г.)

ЭКОНОМИКА

		Урожайность подсолнечника	
		Выше средней	Ниже средней
Доля подсолнечника в структуре посевов	Более 10 %	Ростовская область (ЮФО) Волгоградская область (ЮФО) Краснодарский край (ЮФО) Воронежская область (ЦФО) Тамбовская область (ЦФО) Липецкая область (ЦФО) Белгородская область (ЦФО) Республика Адыгея (ЮФО)	Саратовская область (ПФО) Оренбургская область (ПФО) Самарская область (ПФО) Алтайский край (СФО) Пензенская область (ПФО) Ульяновская область (ПФО)
	Менее 10 %	Ставропольский край (СКФО) Курская область (ЦФО) Орловская область (ЦФО) Рязанская область (ЦФО)	Республика Башкортостан (ПФО) Республика Крым (ЮФО) Челябинская область (УФО) Республика Татарстан (ПФО)

Источник: составлено автором.

Table 3

Groups of Russian regions by the level of specialization and intensification of sunflower production (2022)

		Sunflower yield	
		Above average	Below average
The share of sunflower in the structure of crops	More than 10 %	Rostov region (SFD) Volgograd region (SFD) Krasnodar Krai (SFD) Voronezh region (CFD) Tambov region (CFD) Lipetsk region (CFD) Belgorod region (CFD) Republic of Adygea (SFD)	Saratov region (VFD) Orenburg region (VFD) Samara region (VFD) Altai Krai (SFD) Penza region (VFD) Ulyanovsk region (VFD)
	Less than 10 %	Stavropol Krai (NCFD) Kursk region (CFD) Oryol region (CFD) Ryazan region (CFD)	Republic of Bashkortostan (VFD) Republic of Crimea (SFD) Chelyabinsk region (UFD) Republic of Tatarstan (VFD)

Source: compiled by the author.

Оценка динамики основных показателей выращивания подсолнечника в разрезе наиболее результативных регионов показала, что к 2022 году расширение посевных площадей культуры произошло только в шести регионах из восьми, при этом наибольший прирост отмечается в Ростовской области – 24 %, где посевная площадь подсолнечника является наибольшей. Также заметный прирост посевов культуры произошел в Республике Адыгея, однако в данном регионе посевная площадь является невысокой. Отрицательная динамика к снижению посевных площадей подсолнечника отмечена в Липецкой и Волгоградской областях, где показатель снизился более чем на 10 % к 2022 году. В отчетном периоде среди регионов данной группы посевы подсолнечника превысили 500 тыс. га только в трех регионах, еще в двух показатель превысил 200 тыс. га (таблица 4).

Валовой сбор подсолнечника среди регионов рассматриваемой группы только в трех из восьми снизился к 2022 году, в то время как в оставшихся динамике к росту является устойчивой. В наиболь-

шей степени вырос валовой сбор подсолнечника в Краснодарском крае и Ростовской области. Также прирост более чем на 15 % отмечен в Воронежской и Волгоградской областях. Среди регионов рассматриваемой группы наиболее значимо снизился валовой сбор подсолнечника в Липецкой области, в результате чего в 2022 году в регионе было собрано 437,2 тыс. т семян. По итогам 2022 года лидером по величине валового сбора подсолнечника является Ростовская область, также более 1,2 млн т подсолнечника было собрано еще в трех регионах группы: Краснодарском крае, Воронежской и Волгоградской областях.

Сравнительная оценка урожайности подсолнечника в 2020 и 2022 гг. в регионах рассматриваемой группы показала, что в шести субъектах из восьми показатель увеличился к отчетному периоду, при этом в наибольшей степени выросла урожайность в Краснодарском крае – более чем на 5 ц/га, что привело к существенному росту валового сбора маслосемян в регионе (рис. 2).

Таблица 4

Основные показатели выращивания подсолнечника в регионах России с долей культуры более 11% в структуре посевов и урожайностью выше среднего по стране уровня (2020–2022 г.)

№	Регион	Посевная площадь подсолнечника, тыс. га			Валовой сбор подсолнечника, тыс. т		
		2020	2022	Изменение, %	2020	2022	Изменение, %
1	Ростовская область	760,3	942,6	24,0	1414,9	1 843,7	30,3
2	Краснодарский край	465,1	507,7	9,2	921,8	1302,6	41,3
3	Воронежская область	440,9	454,7	3,1	1051,1	1231,9	17,2
4	Волгоградская область	709	619,0	–12,7	1063,9	1225,9	15,2
5	Тамбовская область	395,3	357,4	–9,6	870,4	823,0	–5,4
6	Белгородская область	159,3	161,5	1,4	462,4	479,5	3,7
7	Липецкая область	215,8	187,3	–13,2	549,7	437,2	–20,5
8	Республика Адыгея	55,6	61,8	11,1	121,3	112,1	–7,6

Источник: составлено автором.

Table 4

The main indicators of sunflower cultivation in Russian regions with a crop share of more than 11% in the structure of crops and yields above the national average (2020–2022)

No.	Region	The sown area of sunflower, thousand ga			Gross sunflower harvest, thousand tons		
		2020	2022	Change, %	2020	2022	Change, %
1	Rostov region	760.3	942.6	24.0	1414.9	1843.7	30.3
2	Krasnodar Krai	465.1	507.7	9.2	921.8	1302.6	41.3
3	Voronezh region	440.9	454.7	3.1	1051.1	1231.9	17.2
4	Volgograd region	709	619.0	–12.7	1063.9	1225.9	15.2
5	Tambov region	395.3	357.4	–9.6	870.4	823.0	–5.4
6	Belgorod region	159.3	161.5	1.4	462.4	479.5	3.7
7	Lipetsk region	215.8	187.3	–13.2	549.7	437.2	–20.5
8	Republic of Adygea	55.6	61.8	11.1	121.3	112.1	–7.6

Source: compiled by the author.

Регионами со снижением урожайности подсолнечника в 2022 году являются Липецкая область и Республика Адыгея. При этом в 2020 году в Липецкой области урожайность культуры была одной из самых высоких и уступала лишь Белгородской области, которая является устойчивым лидером в своей группе. В 2022 году наиболее высокой результативностью производства культуры характеризовалась также Воронежская область и Краснодарский край, где с 1 га посевов было собрано более 25 ц маслосемян.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Подсолнечник сохраняет свою востребованность и экспортную значимость в сельском хозяйстве России, несмотря на существующие внешне-торговые ограничения в последние годы. В стране нет регионов, имеющих специализацию на производстве подсолнечника, при этом для большинства из них культура является одним из элементов севооборота. Изучение путей обеспечения урожая подсолнечника в регионах России на основе их группировки по предложенным критериям показало, что на урожайность подсолнечника оказывают влияние природно-экономические условия. Даже в регионах с относительно невысоким уровнем аграрного потенциала подсолнечник стал неотъемлемым элементом севооборота и имеет более высокую долю в общей структуре посевов в сравнении с аграрно-

специализированными регионами. В таких регионах удельный вес подсолнечника в структуре посевов является более низким и не превышает средний по стране уровень. Это связано с невозможностью выделения дополнительных посевных площадей под культуру из-за ограниченности размеров пашни в них и ее интенсивного задействования под другие направления. В результате лидерство регионов Приволжья по размерам валового сбора подсолнечника обусловлено большим размером посевов под культуру в сравнении с другими регионами, но при этом здесь уровень урожайности подсолнечника является более низким, что свидетельствует о низкой степени интенсификации возделывания культуры. В традиционных «житницах» страны (регионах Юга и Черноземья), напротив, при сравнительно небольшом размере посевов подсолнечника высокая урожайность культуры позволяет получать большой выход с единицы посевов.

Исследование доказывает наличие географического фактора в обеспечении более высокого уровня эффективности использования интенсификации, позволяющей добиваться урожайности выше среднего уровня по стране в регионах ЮФО и ЦФО. Аграрно развитые регионы страны активно применяют методы интенсификации возделывания сельскохозяйственных культур, однако ухудшение благоприятной ценовой конъюнктуры формирует

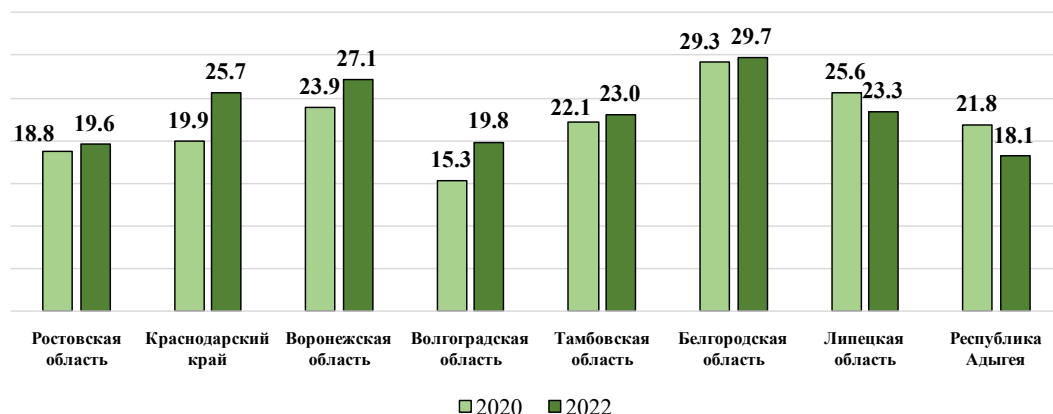


Рис. 2. Сравнение урожайности подсолнечника в регионах России с долей культуры более 11 % в структуре посевов и урожайностью выше среднего по стране уровня, ц/га

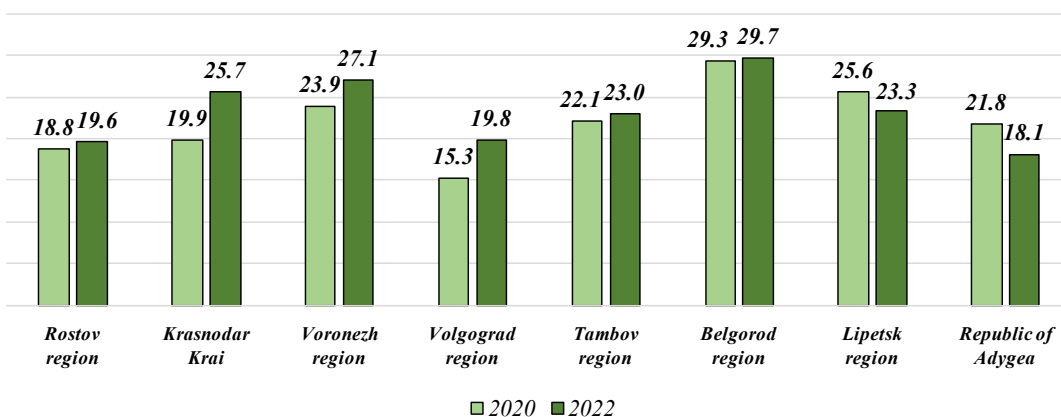


Fig. 2. Comparison of sunflower yields in Russian regions with a crop share of more than 11 % in the structure of crops and yields above the national average, c/ha

угрозу дальнейшего сохранения высоких темпов роста затрат на производство подсолнечника. Поэтому применяемый в ряде регионов путь достижения урожаев через повышение доли посевов культуры в общей структуре в пользу подсолнечника в актуальных условиях также состоятелен.

В результате обеспечение высоких урожаев подсолнечника в основных регионах выращивания культуры формируется за счет использования одного из классических факторов – размера посевов или урожайности. При этом выбор того или

иного фактора в качестве основного при обеспечении результативности выращивания культуры определяется особенностями каждого конкретного региона, определяющими его аграрный потенциал. Безусловно, фактор интенсификации выращивания подсолнечника является наиболее перспективным с точки зрения экономики аграрного производства. Однако его применение в ряде регионов затруднительно или нецелесообразно, в связи с чем экстенсивный фактор и далее будет оставаться одним из возможных путей обеспечения урожаев культуры.

Библиографический список

1. Шогенцукова З. Х., Думанова К. З. Состояние растениеводства как отрасли АПК России и перспективы его развития // Modern Science. 2020. № 11-2. С. 212–218.
2. Макеева О. А., Широкова О. В. Продовольственная безопасность РФ: проблемы и возможные меры // Продовольственная политика и безопасность. 2020. Т. 7, № 2. С. 149–154.
3. Буравова А. А. Современные проблемы обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации // Russian Journal of Management. 2022. Т. 10, № 2. С. 16–20. DOI: 10.29039/2409-6024-2022-10-2-16-20.
4. Hashempour-Baltork F., Farshi P., Alizadeh A. M., Azadmard-Damirchi S., Torbati M. Nutritional Aspects of Vegetable Oils: Refined or Unrefined? // The European Journal of Lipid Science and Technology. 2022. № 124. Article number 2100149. DOI: 10.1002/ejlt.202100149.
5. Орлов Б. Ю., Степанова Е. Г. Эффективные технологии переработки семян масличных культур // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 4 (370). С. 8–11. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.4.2.

6. Usman I., Saif H., Imran A., Afzaal M., Saeed F., Azam I., Afzal A., Ateeq H., Islam F., Shah Y. A., Shah M. A. Innovative applications and therapeutic potential of oilseeds and their by-products: An eco-friendly and sustainable approach // *Food Science & Nutrition*. 2023. Vol. 11. Pp. 2599–2609. DOI: 10.1002/fsn3.3322.

7. Егорова С. В., Кулаков В. Г., Козлетинова М. М., Самсонова А. Д. Совершенствование технологии переработки мелкосеменного масличного сырья // *Пищевая промышленность*. 2019. № 8. С. 77–79. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10121.

8. Дружинин Р. А., Кузьмина О. В. Оборудование для получения растительного масла методом экстракции // *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2021. № 2 (17). С. 115–120.

9. Rani H., Sharma S., Bala M. Technologies for extraction of oil from oilseeds and other plant sources in retrospect and prospects: a review // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44, No. 11. Article number e13851. DOI: 10.1111/jfpe.13851.

10. Штоколова К. В., Фомин О. С. Использование динамического анализа для оценки эффективности управления масложировым подкомплексом АПК в условиях импортозамещения // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 5. С. 192–198.

11. Гончаров С. В., Долгих Л. А. Анализ и тенденции рынка масличных культур // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019. № 132. С. 120–125. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.16.

12. Шалагинова Н. А. Влияние экономических санкций на экономическую безопасность и российский продовольственный рынок в современных условиях // *Евразийский юридический журнал*. 2022. № 7 (170). С. 476–478.

13. Ибрагимов А. Г., Платоновский Н. Г., Шулдяков А. В., Романюк М. А., Сухарникова М. А. Развитие сельского хозяйства в России: состояние и перспективы // *Экономика и предпринимательство*. 2022. № 9 (146). С. 31–34. DOI: 10.34925/EIP.2022.146.9.002.

14. Тухина Н. Ю. Роль рынка подсолнечника в структуре российской экономики и тенденции его изменения // *Никоновские чтения*. 2019. № 24. С. 209–212.

15. Векленко В. И. Мировые тенденции и прогноз производства семян подсолнечника // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 1. С. 121–128.

16. Иброхимов К. А., Эргашев А. Динамика роста, развития и продуктивности сортов подсолнечника в зависимости от климатических особенностей зоны выращивания // *Вестник Педагогического университета. Естественные науки*. 2019. № 1-2. С. 180–185.

17. Штоколова К. В. Особенности управления производством и реализацией подсолнечника и продуктов его переработки в России // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4. С. 187–193.

18. Векленко В. И. Региональные тенденции и прогнозирование урожайности семян подсолнечника // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 3. С. 107–114.

19. Новикова Л. А., Несмеянова М. А., Дедов А. В. Научные основы совершенствования технологии возделывания подсолнечника // *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019. № 2 (12). С. 66–74.

20. Харченко Е. В., Петрова С. Н., Зюкин Д. А. Тенденции развития сельскохозяйственного производства в регионах-лидерах АПК России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. № 5 (383). С. 22–26. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-22-26.

21. Харченко Е. В., Петрова С. Н., Зюкин Д. А. Оценка динамики развития сельскохозяйственного производства в регионах России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. № 6 (384). С. 84–88. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-84-88.

Об авторах:

Карина Владимировна Штоколова, аспирант, Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова, Курск, Россия; ODCID 0009-0004-1091-2844, AuthorID 952088.

E-mail: karina.shtokolova@mail.ru

Олег Сергеевич Фомин, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и финансов, Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова, Курск, Россия;

ODCID 0000-0002-4940-0684, AuthorID 462501. *E-mail: osfomin@yandex.ru*

References

1. Shogentsukova Z. Kh., Dumanova K. Z. The state of crop production as a branch of the agroindustrial complex of Russia and prospects for its development. *Modern Science*. 2020; 11-2: 212–218. (In Russ.)

2. Makeeva O. A., Shirokova O. V. Food security of the Russian Federation: challenges and possible measures. *Food Policy and Security*. 2020; 7 (2): 149–154. (In Russ.)

3. Buravova A. A. Modern problems of ensuring food security of the Russian Federation. *Russian Journal of Management*. 2022; 10 (2): 16–20. DOI: 10.29039/2409-6024-2022-10-2-16-20. (In Russ.)
4. Hashempour-Baltork F., Farshi P., Alizadeh A. M., Azadmard-Damirchi S., Torbati M. Nutritional Aspects of Vegetable Oils: Refined or Unrefined? *The European Journal of Lipid Science and Technology*. 2022; 124: 2100149. DOI: 10.1002/ejlt.202100149.
5. Orlov B. Yu., Stepanova E. G. Effective technologies for processing seeds of oil crops. *News of universities. Food Technology*. 2019; 4 (370): 8–11. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.4.2. (In Russ.)
6. Usman I., Saif H., Imran A., Afzaal M., Saeed F., Azam I., Afzal A., Ateeq H., Islam F., Shah Y. A., Shah M. A. Innovative applications and therapeutic potential of oilseeds and their by-products: An eco-friendly and sustainable approach. *Food Science & Nutrition*. 2023; 11: 2599–2609. DOI: 10.1002/fsn3.3322.
7. Egorova S. V., Kulakov V. G., Kozletina M. M., Samsonova A. D. Improving the processing technology of small seed oilseeds. *Food Industry*. 2019; 8: 77–79. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10121. (In Russ.)
8. Druzhinin R. A., Kuz'mina O. V. Equipment for obtaining vegetable oil by extraction method. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produktsii*. 2021; 2 (17): 115–120. (In Russ.)
9. Rani H., Sharma S., Bala M. Technologies for extraction of oil from oilseeds and other plant sources in retrospect and prospects: a review // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44, No. 11. Article number e13851. DOI: 10.1111/jfpe.13851.
10. Shtokolova K. V., Fomin O. S. The use of dynamic analysis to assess the efficiency of the management of the oil and fat sub-complex of AIC under the conditions of import substitution. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 5: 192–198. (In Russ.)
11. Goncharov S. V., Dolgikh L. A. Analysis of essential oil crops market trends. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 2019; 132: 120–125. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.16. (In Russ.)
12. Shalaginova N. A. The impact of economic sanctions on economic security and the Russian food market in modern conditions. *Eurasian Law Journal*. 2022; 7 (170): 476–478. (In Russ.)
13. Ibragimov A. G., Platonovskiy N. G., Shuldyakov A. V., Romanyuk M. A., Sukharnikova M. A. Development of agriculture in Russia: state and prospects. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2022; 9 (146): 31–34. DOI: 10.34925/EIP.2022.146.9.002. (In Russ.)
14. Tukhina N. Yu. The role of the sunflower market in the structure of the Russian economy and the trends of its change. *Nikonovskiye chteniya*. 2019; 24: 209–212. (In Russ.)
15. Veklenko V. I. Global trends and forecast of seed production sunflower seeds. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 1: 121–128. (In Russ.)
16. Ibrokhimov K. A., Ergashev A. Dynamics of growth, development and productivity of sunflower varieties depending on the climatic characteristics of the growing zone. *The Academic Journal of Moscow City University, series "Natural Sciences"*. 2019; 1–2: 180–185. (In Russ.)
17. Shtokolova K. V. Features of management of production and sales of sunflower and products of its processing in Russia. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 4: 187–193. (In Russ.)
18. Veklenko V. I. Regional trends and forecasting sunflower seed yields. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2022; 3: 107–114. (In Russ.)
19. Novikova L. A., Nesmeyanova M. A., Dedov A. V. Scientific bases of improvement the technology of sunflower cultivation. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2019; 2 (12): 66–74. (In Russ.)
20. Kharchenko E. V., Petrova S. N., Zyukin D. A. The trends of agricultural production development in the regions-leaders of Russia AIC. *International Agricultural Journal*. 2021; 5 (383): 22–26. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-5-22-26. (In Russ.)
21. Kharchenko E. V., Petrova S. N., Zyukin D. A. Assessment of the dynamics of agricultural production development in the regions of Russia. *International Agricultural Journal*. 2021; 6 (384): 84–88. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-6-84-88. (In Russian).

Authors' information:

Karina V. Shtokolova, postgraduate, Kursk State Agricultural University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0009-0004-1091-2844, AuthorID 952088. *E-mail: karina.shtokolova@mail.ru*

Oleg S. Fomin, doctor of economic sciences, professor of the department of accounting and finance, Kursk State Agricultural University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia; ORCID 0000-0002-4940-0684, AuthorID 462501. *E-mail: osfomin@yandex.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:

A. B. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

A. B. Ерофеева – редактор

N. A. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

A. V. Ruchkin – candidate of sociological sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 10.05.2024 г. Усл. печ. л. 14,42. Авт. л. 11,16.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

Нас индексируют / Indexed



ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization
of the United Nations



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

