

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 17, № 4. 2025 год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Аграрный научный центр «Донской»,
член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).
Издается с января 2009 г.

Пахомов В. И. – главный редактор, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор (Зерноград, Россия);
Калинина Н. В. – зам. главного редактора (Зерноград, Россия);
Лобунская И. А. – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Баталова Г. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Волкова Г. В. – чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);
Гончаренко А. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Давлетов Ф. А. – д-р с.-х. наук, Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);
Долженко В. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Дубина Е. В. – д-р биол. наук, проф. РАН, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодар, Россия);
Зезин Н. Н. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Клыков А. Г. – академик РАН, д-р биол. наук, проф. РАН,
ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» (Уссурийск, Россия);
Костылев П. И. – д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Лобачевский Я. П. – академик РАН, д-р техн. наук, проф. РАН (Москва, Россия);
Лукомец В. М. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А. М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Паштетский В. С. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «НИИСХ Крыма» (Симферополь, Россия);
Сандухадзе Б. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В. С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
Упадышев М. Т. – чл. корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Москва, Россия);
Шевченко С. Н. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «Самарский ФИЦ РАН» (Самара, Россия).

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Урбан Э. П. – член-корр. НАН Беларуси, д-р с.-х. наук, профессор,
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (Жодино, Республика Беларусь);
Усенбеков Б. Н. – канд. биол. наук, проф., РГП «Институт биологии и биотехнологии растений»
(Алматы, Республика Казахстан);
Халил Сурек – д-р наук, Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);
Юсупов Г. Ю. – канд. с.-х. наук, Министерство сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана
(Ашхабад, Туркменистан).

*Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-81134 от 17 мая 2021 г.*

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (категория К1),
выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук (по научным специальностям: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),
4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки), 4.1.3. Агробиохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки). Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ),
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Белый список. Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбедина О. Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.

Тел.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.08.2025

Дата выхода 28.08.2025. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

Отпечатано в ООО «Амирит». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88.

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
Vol. 17, No 4. 2025

The founder and publisher is Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural Research Center "Donskoy",
a member of the Association of Science Editors and Publishers (ASEP)
The journal has been published since January, 2009.

Pakhomov V. I. – chief editor, Dr. Sci. (Technology), professor, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Kalinina N. V. – deputy chief editor (Zernograd, Russia);
Lobunskaya I. A. – technical secretary (Zernograd, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Batalova G. A., Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L. A., "P. P. Lukiyanenkov National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Volkova G. V., All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS (Krasnodar, Russia);
Gontcharenko A. A., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Davletov F. A., Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);
Dolzhenko V. I., All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);
Dubina E. V., Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
Zezev N. N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);
Klykov A. G., Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika – Dr. Sci. (Biology),
professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);
Kostylev P. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);
Lobachevsky Ya. P., Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS
(Moscow, Russia);
Lukomets V. M., Federal Scientific Center "V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pashtetskiy V. S. – "Research Institute of Agriculture of Crimea" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Simferopol, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),
academician of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Urban E. P., RUE "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming" –
Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of NAS (Zhodino, The Republic of Belarus);
Usenbekov B. N., Institute of Plant biology and biotechnology – Cand. Sci. (Biology), professor, (Almaty, The Republic of Kazakhstan)
Khalil Surek, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);
Yusupov G. Yu., Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabad, Russia);

*The journal has been registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology
and Mass Media (Roskomnadzor). Registration number is PI No. FS 77-81134 dated May 17, 2021*

The science-practical journal is registered in the List of the leading reviewed scientific journals and publications (category K1)
issued in the country approved by the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian
Federation, where basic scientific results of thesis on Ph.D. and Doctor of Sciences are to be published
(scientific specialties: 4.1.1. General agriculture and plant production (agricultural science), 4.1.2. Plant breeding,
seed production and biotechnology (agricultural science), 4.1.3. Agrochemistry, agricultural soil science, plant protection
and quarantine (agricultural science). The journal is included into Russian Science Citation Index (RSCI)
on the platform Web of Science (RSCI core), Russian Science Citation Index (RSCI), and in the "Whitelist".
The journal is included in the international Directory of Open Access Journals (DOAJ).

English version is of Olga N. Skuybedina.

The official address of the editorial board is 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3.
Tel.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru
The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.08.2025
The date of the issue is 28.08.2025. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Кобылянский В. Д., Тимина М.А., Солодухина О. В., Чуслин А. А. Сорт озимой ржи Арга	5
Иванисова А. С., Марченко Д. М., Кононенко О. С. Поиск источников устойчивости к основным листовым болезням озимой твердой пшеницы в условиях юга Ростовской области	10
Косенко С. В. Дарго: новый высокоурожайный сорт озимой мягкой пшеницы с устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине	16
Кривошеев Г. Я., Игнатъев А. С., Шевченко Н. А. Экологическое изучение новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы	21
Сидоров А. В., Федосенко Д. Ф. Вегетационный период и урожайность яровой мягкой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Красноярского края	29
Кравченко Н. С., Регидин А. А., Игнатъева Н. Г. Сравнительная оценка химического состава и питательной ценности сортов и линий эспарцета	35

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Шпилев Н. С., Лебедько Л. В., Горбачев К. И. Оптимизация агротехники тритикале сорта Форте для достижения программируемой урожайности	41
Ахтямова А. А., Еремин Д. И., Савельева Ю. В. Сортосвая реакция овса тюменской селекции на возрастающие концентрации ионов алюминия в ювенильный период	47
Дёмин Е. А., Миллер С. С. Баланс органического углерода при возделывании различных сельскохозяйственных культур и паров в условиях Северного Зауралья	54
Астахов М. М., Томашевич Н. С. Изучение жизнеспособности бактерий рода <i>Bradyrhizobium</i> на поверхности инокулированных семян при хранении	63
Бессонова Л. В., Вяткина Р. И., Валиев В. В. Агроэкологическая оценка сортов овса посевного в условиях Пермского края	69
Васильченко С. А., Метлина Г. В., Юрков А. П., Лактионов Ю. В. Сравнительная оценка применения современных биопрепаратов ФГБНУ ВНИИСХМ на продуктивность кукурузы и сорго зернового в условиях южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области	77

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Безмутко С. В., Выборова Т. А. Изучение ингибирующего действия нового фунгицида Ланцея против возбудителя пирикулярриоза риса	84
Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В., Соболев С. В., Молодовский Я. С. Оценка устойчивости сортов и линий озимой пшеницы «ФИЦ «Немчиновка» к септориозу листьев и колоса	90
Гультяева Е. И., Беспалова Л. А., Аблова И. Б., Шайдаюк Е. Л., Левченко Ю. Г. Разнообразие возбудителя желтой ржавчины по вирулентности на сортах озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае	97
Колесникова Т. П., Терехин Н. М., Зеленева Ю. В., Конькова Э. А., Коваленко Н. М. Ювенильная устойчивость сортов и линий пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ к листовостебельным болезням	105

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Kobylyansky V. D., Timina M. A., Solodukhina O. V., Chuslin A. A. A winter rye variety 'Arga'	5
Ivanisova A. S., Marchenko D. M., Kononenko O. S. Search for sources of resistance to the main foliar diseases of winter durum wheat in the south of the Rostov region	10
Kosenko S. V. A new highly productive winter common wheat variety 'Dargo' resistant to powdery mildew and brown rust	16
Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Shevchenko N. A. Ecological study of new early and middle-early maize hybrids	21
Sidorov A. V., Fedosenko D. F. Vegetation period and productivity of spring common wheat of different maturity groups in the forest-steppe of the Krasnoyarsk territory	29
Kravchenko N. S., Regidin A. A., Ignatieva N. G. Comparative estimation of the chemical composition and nutritional value of sainfoin varieties and lines	35

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Shpilev N. S., Lebedko L. V., Gorbachev K. I. Optimization of agricultural technology of the triticale variety 'Forte' to achieve planned productivity	41
Akhtyamova A. A., Eremin D. I., Savelieva Yu. V. Varietal response of oats of Tyumen breeding to increasing aluminum ion concentrations in the juvenile period	47
Demin E. A., Miller S. S. Organic carbon balance during cultivation of various agricultural crops and fallow lands in the Northern Trans-Urals	54
Astakhov M. M., Tomashevich N. S. Study of the viability of bacteria of the genus <i>Bradyrhizobium</i> on the surface of inoculated seeds during storage	63
Bessonova L. V., Vyatkina R. I., Valiev V. V. Agroecological assesment of oat varieties in Perm region	69
Vasilchenko S. A., Metlina G. V., Yurkov A. P., Laktionov Yu. V. Comparative estimation of the use of modern bioproducts of the fsbsi arriamb on maize and grain sorghum productivity in the southern natural and agricultural part of the Rostov region	77

PLANT PROTECTION

Bezmutko S. V., Vyborova T. A. Study of the inhibitory effect of the new fungicide 'Lantseya' against the causative agent of rice blast	84
Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V., Sobolev S. V., Molodovsky Ya. S. Estimation of leaf and ear blotch resistance of the "FRC "Nemchinovka" winter wheat varieties and lines	90
Gulyaeva E. I., Besimalova L. A., Ablova I. B., Shaydayuk E. L., Levchenko Yu. G. Variability of yellow rust pathogen according to virulence on winter common wheat varieties in Krasnodar territory	97
Kolesnikova T. P., Terekhin N. M., Zeleneva Yu. V., Kon'kova E. A., Kovalenko N. M. Juvenile resistance of wheat varieties and lines Developed by the far eastern SAU to leaf and stem diseases	105

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633. 14: 631.527

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-5-9

СОРТ ОЗИМОЙ РЖИ АРГА

В. Д. Кобылянский¹, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

М. А. Тимина², ведущий научный сотрудник лаборатории селекции озимой ржи, marina3912@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-0894-0337;

О. В. Солодухина¹, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела генетики, osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693;

А. А. Чуслин², младший научный сотрудник лаборатории селекции озимой ржи, chuslin.andrey@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-6982-3521

¹Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова»,

190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42/44; e-mail: secretary@vir.nw.ru;

²Красноярский научно исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

Дана характеристика нового сорта озимой ржи Арга в сравнении со стандартными сортами Енисейка и Красноярская универсальная при изучении в опытах 2017–2024 гг. на стационаре «Минино» Красноярского НИИСХ – обособленного подразделения ФГБНУ ФИЦ, КНЦ СО РАН, в рамках государственного задания. Сорт озимой ржи Арга создан с участием донора низкого содержания водорастворимых пентозанов и короткостебельности Енисейка 3 и сорта Иртышская. При создании использовали метод внутривидовых накопительных скрещиваний с проведением парных скрещиваний, отбором и переопылением лучших пар и метод клоновых половинок для идентификации и отбора лучших клонов с последующим их объединением в сложную популяцию, внутривидовый отбор на зимостойкость и продуктивность. На государственное испытание передан в 2019 г., в 2023 г. включен в Госреестр по Восточно-Сибирскому (11) региону и рекомендован для возделывания в Красноярском крае и Иркутской области. Оценка сорта озимой ржи Арга в конкурсном сортоиспытании выявила ряд его преимуществ в сравнении со стандартными сортами Енисейка и Красноярская универсальная. Новый сорт не уступал стандартам по зимостойкости и превосходил их по устойчивости к полеганию. По средней урожайности (4,5 т/га) сорт Арга в конкурсном сортоиспытании превысил стандарты Енисейка и Красноярская универсальная на 0,41 и 0,13 т/га соответственно. Превосходство по урожайности обеспечивается за счет более высокой озерненности колоса и массы 1000 зерен. Максимальная зафиксированная урожайность сорта Арга в Красноярском крае – 7,22 т/га.

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, урожайность, водорастворимые пентозаны.

Для цитирования: Кобылянский В. Д., Тимина М.А., Солодухина О. В., Чуслин А. А. Сорт озимой ржи Арга // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 5–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-5-9.



A WINTER RYE VARIETY 'ARGA'

V. D. Kobylansky¹, Doctor of Biological Sciences, professor, main researcher of the department of genetic resources of oats, rye, barley, osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

M. A. Timina², leading researcher of the laboratory for winter rye breeding, marina3912@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-0894-0337;

O. V. Solodukhina¹, Doctor of Biological Sciences, docent, leading researcher of the department of genetics; osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693;

A. A. Chuslin², junior researcher of the laboratory for winter rye breeding, chuslin.andrey@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-6982-3521

¹FSBSI "Federal Research Center All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov",

190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44; e-mail: secretary@vir.nw.ru;

²Krasnoyarsky Research Institute of Agriculture, separate structural unit of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (FRC KSC CB RAS),

660041, Krasnoyarsky Region, Pr. Svobodny, 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

There has been given characteristics of the new winter rye variety 'Arga' in comparison with the standard varieties 'Yeniseyka' and 'Krasnoyarskaya universalnaya' during the study in trials of 2017–2024 at the "Minino" of the Krasnoyarsk RIA, a separate structural unit of the FRC KSC CB RAS, within the framework of the state assignment. The winter rye variety 'Arga' was developed due to the variety 'Yeniseyka 3' being a donor of low water-soluble pentosans and short stem and the variety 'Irtyskaya'. During the development, there was used the meth-

od of intra-population cumulative crossings with paired crossings, selection and cross-pollination of the best pairs and the method of clonal halves for identification and selection of the best clones with their subsequent unification into a complex population, intra-population selection for winter tolerance and productivity. The variety was sent to the State variety testing in 2019, and in 2023 it was included in the State List for the East Siberian (11) region and recommended for cultivation in the Krasnoyarsk Territory and the Irkutsk region. There has been established in the competitive variety testing that the winter rye variety 'Arga' has a number of advantages in comparison with the standard varieties 'Yeniseyka' and 'Krasnoyarskaya universalnaya'. The new variety was not inferior to the standards in winter tolerance and surpassed them in lodging resistance. In terms of mean productivity (4.5 t/ha), the variety 'Arga' exceeded the standard varieties 'Yeniseyka' and 'Krasnoyarskaya universalnaya' by 0.41 and 0.13 t/ha, respectively. The superior productivity was due to the larger grain number per ear and 1000-grain weight. The maximum recorded productivity of 1000 grains in the Krasnoyarsk Territory was 7.22 t/ha.

Keywords: winter rye, variety, productivity, water-soluble pentosans

Введение. Озимая рожь – важная зерновая культура, имеющая традиционно высокую значимость в питании населения России. Она обладает уникальными пищевыми и кормовыми достоинствами и широким спектром использования – в хлебопечении, кормопроизводстве, спирто- и пивоварении, как сырье для глубокой переработки (Пономарева и др., 2024).

Озимая рожь отличается высокой зимостойкостью, выносливостью к почвенной засухе, алюмо- и кислотоустойчивостью, а также способностью произрастать на почвах разного уровня плодородия (Набатова и др., 2023). Минимизация производственных затрат при возделывании и ценность как предшественника определяет ее агротехническую роль, в особенности в регионах с малоплодородными почвами (Пономарева и др., 2022).

Благодаря своим высоким адаптационным свойствам в условиях Сибири рожь приобретает особое значение. Озимый клин в Сибири представлен в основном посевами данной культуры. Многолетнее испытание озимых культур в Омской области показало стабильное преимущество ржи по урожайности перед тритикале и пшеницей (Трипутин и др., 2023).

В настоящее время наблюдается негативная тенденция снижения посевных площадей под озимой рожью (Петрова и др., 2023). Одной из причин является недостаточная селекционная проработка возделываемых сортов. Считают, что степень окультуренности ржи ниже, чем у других зерновых культур, и не вполне завершена (Чайкин и др., 2022). Создание новых более продуктивных сортов с улучшенным качеством зерна – один из путей решения проблемы в возделывании озимой ржи (Парфенова и Псарева, 2024).

Новое направление в селекции озимой ржи – создание сортов с низким содержанием водорастворимых пентозанов. Зерно таких сортов может широко использоваться в кормовой и перерабатывающей промышленности, что повышает востребованность культуры (Кобылянский и др., 2017). В результате селекционно-генетических исследований в данном направлении был создан сорт озимой ржи Арга. Конкурсное испытание в течение ряда лет позволяет оценить возможность новых сортов в сравнении с сортами, выращиваемыми в производстве (Потапова и др., 2020).

Цель исследований – дать характеристику сорта озимой ржи Арга по хозяйственно

ценным признакам в условиях Красноярского края.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2017–2024 гг. в Красноярском НИИСХ – обособленном подразделении ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН» в рамках государственного задания.

Опытный участок находится в зоне открытой лесостепи. Район исследования характеризуется резко континентальным климатом с холодным малоснежным продолжительным зимним периодом и коротким с малым неустойчивым теплонскоплением весенне-летний периодом. Среднегодовое количество осадков составляет 340 мм. Доля зимних осадков невелика, мощность снежного покрова в среднем 12–13 см. Незначительная высота снежного покрова при низких температурах зимой приводит к глубокому промерзанию почвы – до 189 см.

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным среднесильным среднегумусным тяжелосуглинистым. Содержание азота и фосфора в почве среднее ($N-NO_3$ – 10,12 мг/кг, P_2O_5 – 18,84 мг/100 г), обменного калия – высокое (K_2O – 13,90 мг/100 г по Чирикову).

Посев проводили сеялкой ССФК-7М в третьей декаде августа по чистому пару. Норма высева – 5,5 млн всхожих зерен на га. Учетная площадь делянки 10 м², повторность четырехкратная. Стандарты – Енисейка и Красноярская универсальная. Использование двух стандартов связано с тем, что с 2023 г. на госсортоучастках 11-го (Восточно-Сибирского) региона и в наших селекционных опытах в качестве стандарта вместо сорта Енисейка стал использоваться сорт Красноярская универсальная. Учеты и наблюдения проводили по методике Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (2019), статистическую обработку экспериментальных данных – методом дисперсионного анализа в изложении Б. А. Доспехова (2014). Содержание белка в зерне определяли по Къельдалю, число падения на приборе ПЧП 7.

За годы проведения исследований погодные условия осенне-зимних периодов были близки к среднемноголетним данным. Вегетационные периоды наиболее благоприятно складывались в 2020 и 2024 гг., количество осадков и сумма эффективных температур

выше 5°C превышали среднеголетние показатели. 2018 г. был засушливым и прохладным, 2019 г. – засушливым и теплым. Условия вегетационных периодов в остальные годы были близки к среднеголетним данным.

В статье использованы данные Государственной комиссии РФ по испытанию и охране селекционных достижений.

Результаты и их обсуждение. Сорт озимой ржи Арга создан с участием донора низкого содержания водорастворимых пентозанов и короткостебельности Енисейка 3 и сорта Иртышская. При создании новых генотипов использовали метод внутривидовых скрещиваний с проведением парных скрещиваний, отбором и переопылением лучших пар и метод клоновых половинок для идентификации и отбора лучших клонов с последующим их объединением в сложную популяцию. В результате был создан образец озимой ржи с содержанием водорастворимых пентозанов 0,5–0,8 %. После проведения отборов на зимостойкость и продуктивность был сформирован селекционный номер 51/14. По результатам изучения в конкурсном сортоиспытании в 2019 г. номер 51/14 передан в государственное испытание с названием Арга. В 2023 г. сорт включен в Госреестр РФ по Восточно-Сибирскому (11) региону, патент № 12845 от 05.06.2023 года. Рекомендован для возделывания в Красноярском крае и Иркутской области.

Разновидность *vulgare*. Диплоидная форма. Окраска алейронового слоя светлая. Куст промежуточный, полустелющийся. Колеоптиле окрашен. Восковой налет на колосе средний-сильный, на влагалище флагового листа средний. Опушение стебля под колосом сильное. Время выколашивания – позднее. Колос полупоникший-поникший, средней длины и плотности. Зерно полуудлиненное, средней крупности (см. рисунок).

Сорт Арга характеризуется доминантным типом короткостебельности. В конкурсном сортоиспытании высота растений составила 95–115 см, по результатам оценки на сортоучастках – 106–113 см. Соломина проч-

ная. Устойчивость к полеганию высокая. За все годы изучения в конкурсном сортоиспытании устойчивость к полеганию сорта Арга составила 5,0 баллов, сорта Енисейка – колебалась в пределах 4,0–5,0 баллов, сорта Красноярская универсальная – 4,5–5,0 баллов.

В наших опытах зимостойкость сортов Арга и Красноярская универсальная составляла 4,8–5,0 баллов, сорта Енисейка – 5,0 баллов. По данным государственного испытания зимостойкость и устойчивость к засухе сорта Арга выше среднего, на уровне стандарта Енисейка.

За годы исследования средняя урожайность сорта Арга в конкурсном сортоиспытании составила 4,50 т/га, что выше, чем у стандартных сортов Енисейка и Красноярская универсальная, на 0,41 и 0,13 т/га соответственно. Изменчивость урожайности по годам всех сортов была средней. Коэффициент вариации у сорта Енисейка составил 11,6 %, сорта Красноярская универсальная – 12,3 %, у сорта Арга – 11,9 %. Максимальную урожайность в конкурсном сортоиспытании сформировали: сорт Арга – в 2022 г. (5,31 т/га), сорта Енисейка и Красноярская универсальная – в 2024 г. (4,74 и 5,03 т/га соответственно) (табл. 1).



Колосья и зерновки сорта озимой ржи Арга
Ears and kernels of the winter rye variety 'Arga'

Таблица 1. Характеристика сорта Арга в сравнении со стандартными сортами в условиях Красноярской лесостепи (2017–2024 гг.)
Table 1. Characteristics of the variety 'Arga' in comparison with the standard varieties in the Krasnoyarsk forest-steppe (2017–2024)

Показатель		Сорт			НСР ₀₅
		Енисейка, st	Красноярская универсальная, st	Арга	
Урожайность	Среднее, т/га	4,19	4,37	4,50	0,20
	Пределы, т/га	3,44–4,74	3,58–5,03	3,89–5,31	–
	Коэффициент вариации, %	11,6	12,3	11,9	–
Продуктивный стеблестой	Среднее, шт./м ²	555	534	467	23
	Пределы, шт./м ²	468–692	332–748	350–604	–
	Коэффициент вариации, %	13,7	27,3	22,5	–
Число зерен в колосе	Среднее, шт.	47,2	49,8	54,2	2,6
	Пределы, шт.	42,0–49,0	42,0–57,8	48,0–60,0	–
	Коэффициент вариации, %	5,0	10,9	7,5	–
Масса 1000 зерен	Среднее, г	25,6	27,1	28,6	1,4
	Пределы, г	22,5–28,2	23,0–29,7	23,5–31,9	–
	Коэффициент вариации, %	8,3	9,0	10,3	–

За годы изучения в конкурсном сортоиспытании густота продуктивного стеблестоя наиболее высокой была у сорта Енисейка (555 шт./ м² при среднем уровне изменчивости (CV = 13,7 %)). Красноярская универсальная формировала в среднем 534 продуктивных стебля на метр квадратный, Арга – 467. Уровень изменчивости был значительным (коэффициент вариации 27,3 и 22,5 % соответственно).

Озерненность колоса и крупность зерна у всех сортов варьировали по годам незначи-

тельно. Сорт Арга превосходил стандартные сорта по числу зерен в колосе: Енисейку – на 7,0 шт., Красноярскую универсальную – на 4,4 шт., по массе 1000 зерен: Енисейку – на 3,0 г, Красноярскую универсальную – на 1,5 г.

При изучении на сортоучастках Красноярского края в 2021–2022 гг. средняя урожайность сорта Арга была 4,52 т/га, прибавка к стандарту Енисейка – 0,75 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность сорта Арга на государственных сортоучастках Красноярского края, т/га (2021–2022 гг.)
Table 2. Productivity of the variety 'Arga' on the state variety plots of the Krasnoyarsk Territory, t/ha (2021–2022)

Сорт	Сортоучастки			Среднее
	Казачинский, подтайга низменности	Уярский, Канско-Красноярская лесостепь	Назаровский, лесостепь Причудумья	
Енисейка, st	1,77	3,78	5,77	3,77
Арга	1,92	5,11	6,54	4,52
НСР _{0,05}	0,10	0,38	0,69	

Максимальная урожайность (7,22 т/га) получена на Назаровском сортоучастке в 2021 году.

При изучении в конкурсном сортоиспытании на естественном фоне не зафиксировано поражение сорта Арга бурой ржавчиной. В Государственном испытании в полевых условиях сорт слабо поражен септориозом и спорыньей.

В наших опытах в 2020 г. на участке с низким содержанием азота (4,6–6,3 мг/100 г по Чирикову) урожайность сорта составила 3,11 т/га. Внесение удобрений (осеннее в дозе N₃₀ P₃₀ K₃₀ и весенняя подкормка азотом в дозе

30 кг действующего вещества) увеличило урожайность до 4,83 т/га, при этом сохранилась высокая устойчивость сорта к полеганию (5 баллов).

По данным технологического анализа зерна урожая 2022–2024 гг. новый сорт несколько превосходил стандартные сорта по натуре зерна и объемному выходу хлеба, уступал на 1,0–1,3 % по содержанию белка, по общей хлебопекарной оценке находился на уровне стандартных сортов. По числу падения уступая Енисейке, превосходил Красноярскую универсальную (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества зерна сортов озимой ржи (2022–2024 гг.)
Table 3. Grain quality indicators of winter rye varieties (2022–2024)

Показатель	Сорт		
	Енисейка	Красноярская универсальная	Арга
Натура зерна, г/л	700	694	714
Число падения, с	172	147	154
Содержание белка, %	13,2	13,5	12,2
Объем хлеба из 100 г муки, см ³	410	410	430
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,0	4,1	4,1

Натура зерна сорта Арга составила 714 г/л, содержание белка – 12,2 %, число падения – 154 с, объем хлеба из 100 г муки – 430 см³, общая хлебопекарная оценка – 4,1 балла. В соответствии с ГОСТ 16990-2017 новый сорт озимой ржи по натуре зерна соответствует первому классу качества, по числу падения – второму.

Выводы. Новый низкопентозановый сорт озимой ржи Арга в условиях Красноярского края по зимостойкости находится на уровне стандартных сортов Енисейка и Красноярская универсальная. Характеризуется укороченной прочной соломиной, высокой устойчивостью к полеганию. Средняя урожайность зерна в конкурсном сортоиспытании Красноярского НИИСХ – 4,50 т/га, что выше

стандартных сортов Енисейка и Красноярская универсальная на 0,41 и 0,13 т/га соответственно. Превосходство по урожайности обеспечивается за счет более высокой озерненности колоса и массы 1000 зерен. Максимальная зафиксированная урожайность сорта Арга в Красноярском крае – 7,22 т/га.

Ценность нового сорта подтверждена успешным прохождением государственного сортоиспытания. В 2023 г. сорт Арга был внесен в Государственный реестр селекционных достижений по Восточно-Сибирскому региону РФ.

Финансирование. НИР выполнено за счет средств, выделенных по государственному заданию № 124012900548-8 «Создание сортов нового поколения зерновых, зернобобовых,

масличных, плодово-ягодных культур с повышенной адаптацией и стрессоустойчивостью, их первичное и промышленное семеноводство для условий Средней Сибири».

Библиографический список

1. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Лунегова И. В., Новикова С. П., Хлопюк М. С., Макаров В. И. Создание низкопентозановой ржи и возможности ее использования на корм животным // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, вып. 1. С. 31–40. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-31-40
2. Набатова Н. А., Уткина Е. И., Псарева Е. А. Влияние погодных условий на изменчивость селекционно ценных признаков сортов озимой ржи в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 4. С. 549–561. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.549-561
3. Парфенова Е. С., Псарева Е. А. Адаптивность сортов озимой ржи по урожайности в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 4. С. 561–570. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570
4. Петрова А. А., Лихенко И. Е., Артемова Г. В. Актуальность увеличения доли озимой ржи в производственных посевах Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 3. С. 53–62. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-6
5. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф. Методы исследования качества цельносмолотой муки из зерна ржи // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 4. С. 13–21 DOI: 10.31857/S2500262722040032
6. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Гильмуллина Л. Ф., Маннапова Г. С. Вариабельность содержания арабиноксианов в анатомических частях зерновки озимой ржи в период созревания зерна // Аграрный научный журнал. 2024. № 9. С. 49–57. DOI: 10.28983/asj.y2024i9pp49-57
7. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на Среднем Урале // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004
8. Трипутин В. М., Кашуба Ю. Н., Ковтуненко А. Н. Новый сорт озимой ржи Иртышская 2 // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-8-13.
9. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Создание и характеристика сорта озимой ржи Таловская 45 // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 29–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6 29-33

References

1. Kobylyanskii V. D., Solodukhina O. V., Lunegova I. V., Novikova S. P., Khlopyuk M. S., Makarov V. I. Sozdanie nizkopentozanovoi rzhi i vozmozhnosti ee ispol'zovaniya na korm zhivotnym [Development of low-pentosan rye and the possibility of its use as animal feed] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2017. T. 178, Vyp. 1. S. 31–40. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-31-40
2. Nabatova N. A., Utkina E. I., Psareva E. A. Vliyanie pogodnykh uslovii na izmenchivost' selektsionno tsennykh priznakov sortov ozimoi rzhi v usloviyakh Kirovskoi oblasti [The effect of weather conditions on the variability of valuable breeding traits of winter rye varieties in the Kirov region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2023. T. 24, № 4. S. 549–561. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.549-561
3. Parfenova E. S., Psareva E. A. Adaptivnost' sortov ozimoi rzhi po urozhainosti v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Adaptability of winter rye varieties' productivity in the Kirov region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2024. T. 25, № 4. S. 561–570. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570
4. Petrova A. A., Likhenko I. E., Artemova G. V. Aktual'nost' uvelicheniya doli ozimoi rzhi v proizvodstvennykh posevakh Zapadnoi Sibiri [The relevance of increasing the share of winter rye in industrial crops of Western Siberia] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. T. 53, № 3. S. 53–62. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-6
5. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gil'mullina L. F. Metody issledovaniya kachestva tsel'nosmolotoi muki iz zerna rzhi [Methods for studying the quality of whole-milled rye flour] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka, 2022. № 4. S. 13–21. DOI: 10.31857/S2500262722040032
6. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Gil'mullina L. F., Mannapova G. S. Variabelnost' soderzhaniya arabinoksilanov v anatomsicheskikh chastyakh zernovki ozimoi rzhi v period sozrevaniya zerna [Variability of arabinoxylans in the anatomical parts of the winter rye grain during the ripening period] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2024. № 9. S. 49–57. DOI: 10.28983/asj.y2024i9pp49-57
7. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L. Produktivnost' i adaptivnost' sortov ozimoi rzhi na Srednem Urале [Productivity and adaptability of winter rye varieties in the Middle Urals] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 10. S. 28–33. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11004
8. Triputin V. M., Kashuba Yu. N., Kovtunencko A. N. Novyi sort ozimoi rzhi Irtyshskaya 2 [A new winter rye variety 'Irtyshskaya 2'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 3. S. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-8-13
9. Chaikin V. V., Torop A. A., Torop E. A. Sozdanie i kharakteristika sorta ozimoi rzhi Talovskaya 45 [Development and characteristics of the winter rye variety 'Talovskaya 45'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 29–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6 29-33

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кобылянский В. Д., Тимина М. А., Солодухина О. В. – концептуализация исследования; Тимина М. А. – подготовка опыта; Тимина М. А., Чуслин А. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Тимина М. А., Чуслин А. А. – анализ данных и их интерпретация; Тимина М. А., Чуслин А. А. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ОСНОВНЫМ ЛИСТОВЫМ БОЛЕЗНЯМ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Иванисова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

О. С. Кононенко, агроном лаборатории иммунитета и защиты растений, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6460

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В настоящее время высокий уровень селекционной работы требует тщательного подбора исходного материала, выявления в мировой коллекции пшеницы ценных форм для создания урожайных сортов, устойчивых к инфекционным болезням и с высоким качеством зерна. В связи с этим целью исследований являлась оценка исходного материала озимой твердой пшеницы и выделение источников устойчивости к основным листовым болезням в условиях юга Ростовской области. Работу проводили в 2020–2022 гг. на полях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Изучение проходили 159 генотипов различного географического происхождения, представленных тринадцатью странами: Россия – 44,8 %, Мексика – 15,8 %, Украина, Турция – 9,4 % и др. Оценку генотипов на устойчивость к листовым болезням (мучнистой росе (*Blumeria graminis tritici*), бурой (Puccinia triticina) и желтой ржавчине (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), септориозу (*Zymoseptoria tritici*)) авторы проводили на естественном фоне. Высокая влажность воздуха и обилие осадков в весенне-летний период во все годы исследований благоприятствовали развитию листовых болезней на озимой твердой пшенице. В результате проведенных исследований выделен ряд генотипов с комплексной устойчивостью к основным листовым болезням, распространенным в условиях юга Ростовской области: 1148/12, 1015/16, 1006/15, 323/17, 955/17, Кремона, Крупинка (Россия), SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2, P 1290493/HUI/AV79 (Мексика), Rodur (Франция), которые можно рекомендовать как перспективный материал для дальнейшей селекционной работы с целью создания устойчивых сортов с хозяйственно ценными признаками.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, селекция на иммунитет, устойчивость, исходный материал, болезни.

Для цитирования: Иванисова А. С., Марченко Д. М., Кононенко О. С. Поиск источников устойчивости к основным листовым болезням озимой твердой пшеницы в условиях юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 10–15. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-10-15.



SEARCH FOR SOURCES OF RESISTANCE TO THE MAIN FOLIAR DISEASES OF WINTER DURUM WHEAT IN THE SOUTH OF THE ROSTOV REGION

A. S. Ivanisova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

O. S. Kononenko, agronomist of the laboratory for immunity and protection of plants, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6460

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail

At present, the high level of breeding work requires careful selection of initial material, identification of valuable forms in the world collection of wheat to develop highly productive varieties resistant to infectious diseases and with high grain quality. Therefore, the purpose of the current study was to estimate the initial material of winter durum wheat and identify sources of resistance to the main foliar diseases in the south of the Rostov region. The study was carried out in the fields of the department of winter wheat breeding and seed production of the FSBSI “ARC “Donskoy” in 2020–2022. There have been studied 159 genotypes of various geographical origins, represented by 13 countries, namely 44.8 % from Russia, 15.8 % from Mexico, 9.4 % from Ukraine, Turkey, etc. The estimation of genotypes for resistance to foliar diseases (powdery mildew (*Blumeria graminis tritici*), brown (*Puccinia triticina*) and yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), septoria (*Zymoseptoria tritici*)) was carried out on a natural background. High air humidity and abundant precipitation in the spring-summer period through all years of study favored the development of foliar diseases on winter durum wheat. As a result there have been identified

several genotypes with complex resistance to the main foliar diseases common for the south of the Rostov region such as 1148/12, 1015/16, 1006/15, 323/17, 955/17, Cremona, Krupinka (Russia), SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2, P 1290493/HUI/AV79 (Mexico), Rodur (France), which can be recommended as promising material for further breeding work in order to develop resistant varieties with economically valuable traits.

Keywords: winter durum wheat, breeding for immunity, resistance, initial material, diseases.

Введение. В настоящее время высокий уровень селекционной работы требует тщательного подбора исходного материала, выявления в мировой коллекции пшеницы ценных форм для создания урожайных сортов, устойчивых к инфекционным болезням и с высоким качеством зерна (Евдокимов и др., 2022).

В борьбе с болезнями растений серьезное внимание уделяется селекции на иммунитет. Успех в этом деле зависит от многих факторов, в том числе от наличия генов устойчивости (Агапова и др., 2021).

Очень часто новый сорт, выведенный научно-исследовательским учреждением, считается устойчивым к какому-либо заболеванию, но при возделывании в производстве через несколько лет начинает поражаться данной болезнью. Чаще всего это связано с появлением какой-либо новой физиологической расы, на устойчивость к которой сорт не испытывался. Это значительно осложняет создание устойчивых к заболеваниям сортов (Aoun et al., 2021; Дерова и др., 2024).

Создание устойчивых к болезням и вредителям сортов – важный резерв повышения валовых сборов зерна. При этом следует помнить, что в новом генотипе желательны сочетание полевой выносливости к болезням с высокой устойчивостью к расам или комплексу рас паразита (Волкова и др., 2023).

Одной из задач современной селекции следует считать выявление среди исходного многообразия сортов и гибридных форм с широкой генетической основой и привлечение их к скрещиванию. Исходный материал является средством для создания новых генотипов, обладающих ценными биологическими и хозяйственными признаками, в том числе и устойчивостью к листовым болезням (Ivanisov et al., 2023).

Цель исследований – оценить исходный материал озимой твердой пшеницы и выделить источники устойчивости к основным листовым болезням в условиях юга Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Работу по оценке коллекционных образцов на устойчивость к листовым болезням проводили в 2020–2022 гг. (на естественном фоне) на полях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Изучение проводили 159 генотипов различного географического происхождения. В качестве стандарта использовали сорт озимой твердой пшеницы Кристелла.

Посев озимой твердой пшеницы проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S обычным рядовым способом на глубину заделки семян 4–6 см с нормой высева 500 всхожих зерен

на 1 м². Учетная площадь делянок 5 м², повторность трехкратная.

Степень поражения сортов бурой, желтой ржавчиной в естественных условиях оценивали по методике Э. Э. Гешеле (1978), мучнистой росой – С. И. Ригиной-Трайниной, И. Г. Одинцовой (1974), септориозом – Л. Г. Тырышкина и М. А. Колесовой (2008).

Метеорологические условия в годы проведения исследований отличались от средних многолетних данных по количеству выпавших осадков и среднемесячной температуре воздуха.

Интенсивные осадки в мае (79,9 мм, 155,7 % к норме) 2020 г. и оптимальный температурный режим (11,3 °С) оказали благоприятное влияние на рост и развитие озимой пшеницы.

Температурный режим в мае 2021 г. был повышенным – 18,1 °С (+1,6 °С к среднемноголетним). За текущий месяц выпало 65,0 мм осадков (+13,7 мм к среднемноголетней). Июнь был дождливым – выпало 103,9 мм осадков (+32,6 мм к среднемноголетней).

Весна 2022 г. характеризовалась температурным режимом в пределах среднемноголетних значений и обилием осадков (164,4 мм; 125,5 % от нормы).

Высокая влажность воздуха и обилие осадков в весенне-летний период во все годы исследований благоприятствовали развитию листовых болезней на озимой твердой пшенице.

Результаты и их обсуждение. С целью создания комплексно-устойчивых сортов озимой твердой пшеницы к основным заболеваниям в условиях юга Ростовской области нами изучен ряд образцов различного эколого-географического происхождения, представленных тринадцатью странами: Россия – 44,8 %, Мексика – 15,8 %, Украина, Турция – 9,4 % и др. (рис. 1).

Отрицательно сказываются на урожае озимой твердой пшеницы развивающиеся на ее листьях и стеблях различные виды ржавчины (бурая, желтая), мучнистая роса, септориоз (Matzen et al., 2019). В связи с этим в селекции на иммунитет основной задачей является поиск новых источников устойчивости с последующим привлечением их в селекционный процесс.

Мучнистая роса (*Blumeria graminis tritici*) в опыте проявлялась во все годы изучения, что позволило выделить устойчивые генотипы. По устойчивости к данному патогену коллекционные образцы распределились на следующие группы: устойчивые – 78,0 %, среднеустойчивые – 17,0 %, средневосприимчивые – 3,8 %, восприимчивые – 1,2 % (рис. 2).

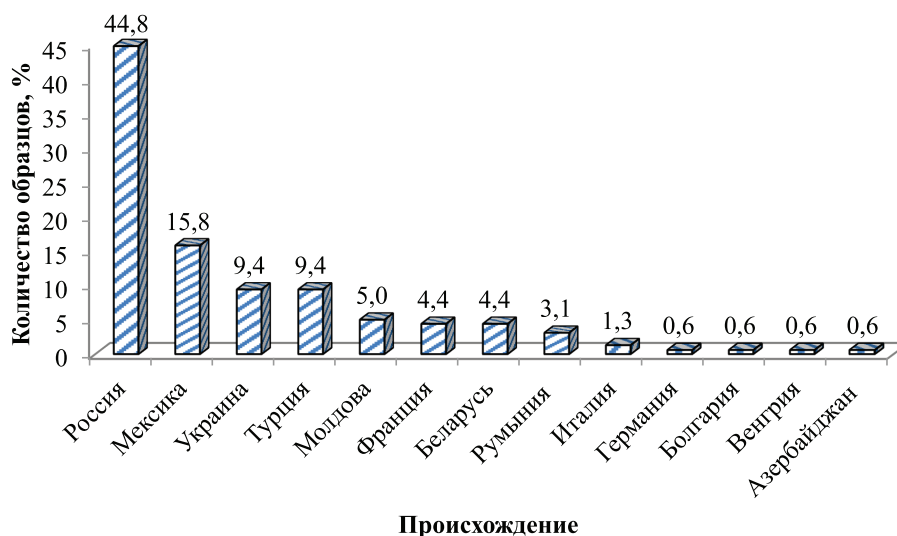


Рис. 1. Происхождение коллекционных образцов озимой твердой пшеницы (2020–2022 гг.)
Fig. 1. Origin of the collection samples of winter durum wheat (2020–2022)

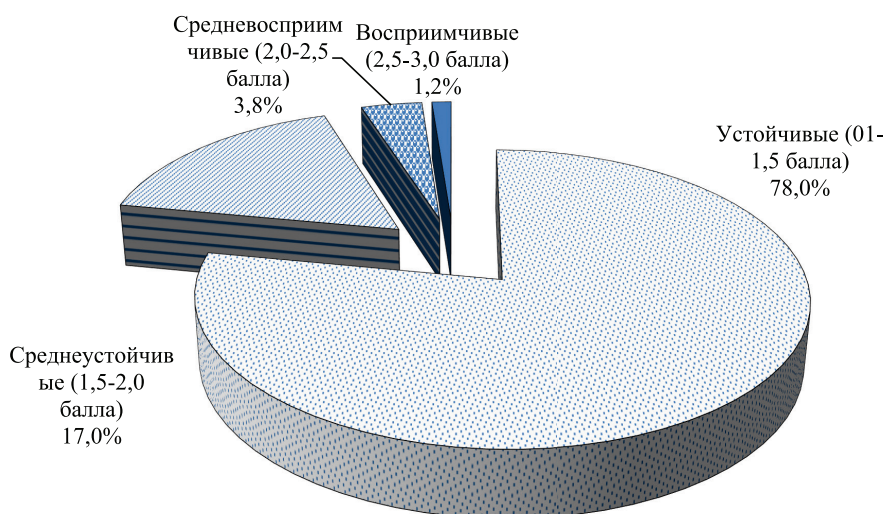


Рис. 2. Распределение коллекционных образцов озимой твердой пшеницы по устойчивости к мучнистой росе (2020–2022 гг.)
Fig. 2. Distribution of the collection samples of winter durum wheat according to resistance to powdery mildew (2020–2022)

Высокую устойчивость к мучнистой росе (01–1,5 балла) в полевых условиях проявляли образцы из России – Кремона, 645/11, 429/12, 627/14, 976/15, 1028/16, 448/17, 1169/17; Турции – SARI BUGDAY 2, KIZILTAN, AKBASAK 073/144, EMINBEY; Мексики – OSU-3880015//EMU/RISSA, OSU 3910244/SHAG-26, DF 28.82.84/DAB-18; Беларуси – BUL-T. DURUM-2, BUL-T.DURUM-10, BUL-T.DURUM-5; Азербайджана – BARAKATLI-95 и др.

На других генотипах поражение наблюдалось в сильной и средней степени. Максимальные поражения (2,0–3,0 балла) отмечены у 5,0 % изучаемых коллекционных образцов озимой твердой пшеницы.

Бурая (*Puccinia recondita*) и желтая (*Puccinia striiformis* f.sp. tritici) ржавчины входят в число наиболее вредоносных заболеваний пшеницы. Успех селекции на устойчивость к данным патогенам в значительной мере зависит от используемого исходного материала и степени его генетической изученности (Дерова и др., 2022).

По устойчивости к бурой ржавчине коллекционные образцы озимой твердой пшеницы разделялись на следующие группы: устойчивые – 89,3 %, среднеустойчивые – 3,8 %, средневосприимчивые – 5,0 %, восприимчивые – 1,9 %; по желтой: устойчивые – 89,3 %, среднеустойчивые – 3,8 %, средневосприимчивые – 5,7 %, восприимчивые – 1,2 % (табл. 1).

Таблица 1. Распределение коллекционных образцов озимой твердой пшеницы по устойчивости к бурой и желтой ржавчинам (естественный фон), 2020–2022 годы
Table 1. Distribution of the collection samples of winter durum wheat according to resistance to brown and yellow rust (natural background), 2020–2022

Группа	Количество образцов			
	бурая ржавчина		желтая ржавчина	
	шт.	%	шт.	%
Устойчивые (0–15 %)	142	89,3	142	89,3
Среднеустойчивые (15–30 %)	6	3,8	6	3,8
Средневосприимчивые (30–40 %)	8	5,0	9	5,7
Восприимчивые (50–100 %)	3	1,9	2	1,2

В годы исследований (2020–2022) растения озимой твердой пшеницы слабо поражались бурой и желтой ржавчиной. Практически все коллекционные образцы показали высокую устойчивость к данным заболеваниям.

В условиях юга Ростовской области наиболее распространенной листовой болезнью является септориоз (*Zymoseptoria tritici*). У растений, листья которых поражаются данным патогеном, усиливается транспирация, ассими-

ляция же ослабляется, вследствие этого получается щуплое зерно и значительно снижается урожай (Пахолкова и др., 2022).

За изучаемый период коллекционные образцы озимой твердой пшеницы по устойчивости к септориозу разделились на следующие группы: устойчивые – 44,7 %, среднеустойчивые – 31,4 %, средневосприимчивые – 21,4 % и восприимчивые – 2,5 % (рис. 3).

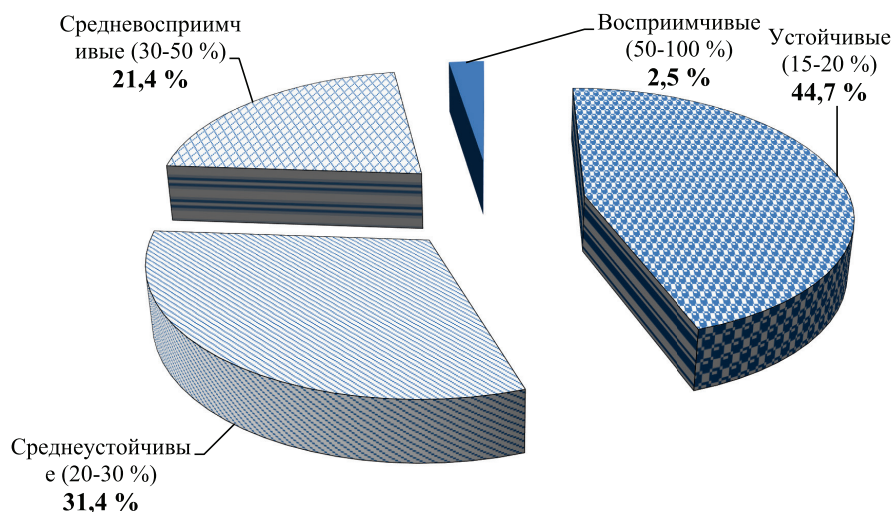


Рис. 3. Распределение коллекционных образцов озимой твердой пшеницы по устойчивости к септориозу (естественный фон), 2020–2022 годы
Fig. 3. Distribution of the collection samples of winter durum wheat according to resistance to septoria (natural background), 2020–2022

Высокую устойчивость к данному патогену (до 20 %) в полевых условиях проявили образцы из России – Кремона, 1148/12, 588/15, 1562/15, 1015/16, 323/17, 348/17; Германии – Winter Gold; Турции – SARI BUGDAY 2, YILMAZ; Мексики – SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2, OSU-3880001/4AOS/SNIP/3/MEDIUM/KIF//SAPI, OSU-3880015//EMU/RISSA, OSU 3910244/SHAG-26 и др.

Объединение в одном сорте иммунитета одновременно к различным заболеваниям является трудной, но актуальной задачей селек-

ции. При этом в различных регионах, где возникают постоянные эпифитотии бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы и других болезней, особый интерес представляют сорта и формы с комплексной устойчивостью (Дерова и др., 2024).

За 2020–2022 гг. был выделен ряд образцов озимой твердой пшеницы с комплексной устойчивостью к основным листовым болезням в условиях Ростовской области. Характеристика их представлена в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика образцов озимой твердой пшеницы, устойчивых к основным листовым болезням (2020–2022 гг.)
Table 2. Characteristics of the winter durum wheat samples resistant to major foliar diseases (2020–2022)

Образцы	Происхождение	Урожайность, г/м ²	Поражение (естественный фон)			
			бурой ржавчиной, %	желтой ржавчиной, %	мучнистой росой, балл	септориозом, %
Кристалла, стандарт	Россия	567,3	5–10	0–5	1,5–2,0	15–20
1148/12	Россия	567,9	0	5–10	01	10–15
1015/16	Россия	540,7	0	следы	следы	10–15
1006/15	Россия	577,2	0	0	01	5–10
323/17	Россия	673,5	0–5	0	1	10–15
955/17	Россия	676,6	следы	0	01	10–15
Кремона	Россия	484,1	0	0–5	1	10–15
Крупинка	Россия	751,0	следы	0–5	01	10–15
SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2	Мексика	460,9	следы	0–5	01	10–15
P 1290493//HUI//AV79	Мексика	578,0	0	0–5	следы	5–10
Rodur	Франция	522,7	0	10–15	1	10–15
HCP ₀₅	–	103,6	–	–	–	–

Особый интерес представляют высокопродуктивные образцы с комплексной устойчивостью к изучаемым патогенам: 323/17, 955/17, Крупинка (Россия). Урожайность их находилась в пределах 673,5–751,0 г/м², достоверная прибавка над стандартом получена от 106,3 до 183,7 г/м² (HCP₀₅ 103,6 г/м²).

Выделенные генотипы озимой твердой пшеницы могут послужить хорошим исходным материалом для создания сортов, обладающих ценными биологическими и хозяйственными признаками, в том числе и устойчивостью к листовым болезням.

Выводы. В результате изучения коллекционных образцов озимой твердой пшеницы выделен ряд источников с высокой устойчивостью к мучнистой росе (0–1,5 балла): 645/11, 429/12, 627/14, 976/15, 1028/16, 448/17, 1169/17, Кремона (Россия); SARI BUGDAY 2, KIZILTAN, АКБАСАК 073/144, EMINBEY (Турция); OSU-3880015//EMU/RISSA, OSU3910244/SHAG-26, DF 28.82.84/DAB-18 (Мексика); BUL-T.DURUM-2, BUL-T.DURUM-10, BUL-T.DURUM-5 (Беларусь);

BARAKATLI-95 (Азербайджан) и др. С высокой устойчивостью к септориозу (до 20%): 1148/12, 588/15, 1562/15, 1015/16, 323/17, 348/17, Кремона (Россия); Winter Gold (Германия), SARI BUGDAY 2, YILMAZ (Турция); SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2, OSU-3880001/4AOS/SNIP/3/MEDIUM/KIF//SAPI, OSU-3880015//EMU/RISSA, OSU 3910244/SHAG-26 (Мексика) и др. С комплексной устойчивостью к основным листовым болезням, распространенным в условиях юга Ростовской области: 1148/12, 1015/16, 1006/15, 323/17, 955/17, Кремона, Крупинка (Россия); SN TURK MI 82-83 90/GUTROS-2, P 1290493//HUI//AV79 (Мексика); Rodur (Франция).

Выделенные устойчивые формы можно рекомендовать как перспективный материал для дальнейшей селекционной работы на иммунитет.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № 0505-2025-0006.

Библиографический список

- Агапова В. Д., Ваганова О. Ф., Кудинова О. А., Волкова Г. В. Скрининг сортообразцов пшеницы российской селекции на устойчивость к бурой ржавчине // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51, № 1. С. 33–41. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-4
- Волкова Г. В., Кудинова О. А., Игнатъева О. О., Агапова В. Д., Gladkova E. V., Ваганова О. Ф., Матвеева И. П. Устойчивость к ржавчинам образцов пшеницы и тритикале в разные фазы онтогенеза // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 4(69). С. 161–172.
- Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Ивановов М. М., Кононенко О. С. Поиск источников устойчивости к листовым болезням среди современных сортов озимой мягкой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 100–106. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-100-106
- Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Кононенко О. С., Самофалова Н. Е. Устойчивость сортов озимой твердой пшеницы к бурой ржавчине (*Puccinia triticina*) и мучнистой росе (*Blumeria graminis*) в АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 89–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-89-94
- Евдокимов М. Г., Юсов В. С., Кирьякова М. Н., Мешкова Л. В., Пахотина И. В., Глушаков Д. А. Перспективные генетические источники для селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 7. С. 609–621. DOI: 10.18699/VJGV-22-75
- Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Панкратова Л. Ф., Коломиец Т. М. Иммунологическая оценка сортов яровой пшеницы селекции касиб на устойчивость к возбудителю септориоза колоса *Parastagonospora Nodorum* // Биосфера. 2022. Т. 14, № 4. С. 355–358.

7. Aoun M., Rouse M. N., Kolmer J. A., Kumar A., Elias E. M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12, P. 1–20. Article number: 640739. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739
8. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Shishkin N. V., Gaze V. L. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC "Donskoy" // *E3S Web of Conferences*. XVI International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2023". Rostov n/D., 2023. Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
9. Matzen N., Heick T.M., Jorgensen L.N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereal by Serenade ASO (*Bacillus amyloquefaciens* (former *subtilis*) strain QST) // *Biological Control*. 2019. Vol. 139, Article number: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067

References

1. Agapova V. D., Vaganova O. F., Kudinova O. A., Volkova G. V. Skринing sortobraztsov pshenitsy rossiiskoi selektsii na ustoichivost' k buroi rzhavchine [Screening of Russian wheat variety samples for brown rust resistance] // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2021. T. 51, № 1. S. 33–41. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-4
2. Volkova G. V., Kudinova O. A., Ignat'eva O. O., Agapova V. D., Gladkova E. V., Vaganova O. F., Matveeva I. P. Ustoichivost' k rzhavchinam obraztsov pshenitsy i tritikale v raznye fazy ontogeneza [Rust resistance of wheat and triticale samples in different phases of ontogenesis] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2023. T. 18, № 4(69). S. 161–172.
3. Derova T. G., Shishkin N. V., Ivanisov M. M., Kononenko O. S. Poisk istochnikov ustoichivosti k listovym boleznyam sredi sovremennykh sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Search for sources of resistance to leaf diseases among modern winter common wheat varieties in the southern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2024. T. 16, № 3. S. 100–106. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-100-106
4. Derova T. G., Shishkin N. V., Kononenko O. S., Samofalova N. E. Ustoichivost' sortov ozimoi tverdoi pshenitsy k buroi rzhavchine (*Puccinia triticina*) i muchnistoi rose (*Blumeria graminis*) v ANTs «Donskoi» [Winter durum wheat varieties' resistance to brown rust (*Puccinia triticina*) and powdery mildew (*Blumeria graminis*) in the "ARC "Donskoy"] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. T. 14, № 2. S. 89–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-89-94
5. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Kir'yakova M. N., Meshkova L. V., Pakhotina I. V., Glushakov D. A. Perspektivnye geneticheskie istochniki dlya selektsii yarovoi tverdoi pshenitsy v Zapadnoi Sibiri [Promising genetic sources for spring durum wheat breeding in Western Siberia] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2022. T. 26, № 7. S. 609–621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75
6. Pakholkova E. V., Sal'nikova N. N., Pankratova L. F., Kolomiets T. M. Immunologicheskaya otsenka sortov yarovoi pshenitsy selektsii kasib na ustoichivost' k vzbuditelyu septorioza kolosa *Parastagonospora nodorum* [Immunological estimation of spring wheat varieties of Kasib breeding for resistance to the causative agent of leaf blotch (*Parastagonospora nodorum*)] // *Biosfera*. 2022. T. 14, № 4. S. 355–358.
7. Aoun M., Rouse M. N., Kolmer J. A., Kumar A., Elias E. M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12, P. 1–20. Article number: 640739. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739
8. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Shishkin N. V., Gaze V. L. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC "Donskoy" // *E3S Web of Conferences*. XVI International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2023". Rostov n/D., 2023. Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
9. Matzen N., Heick T.M., Jorgensen L.N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereal by Serenade ASO (*Bacillus amyloquefaciens* (former *subtilis*) strain QST) // *Biological Control*. 2019. Vol. 139, Article number: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067

Поступила: 08.04.25; доработана после рецензирования: 13.05.25; принята к публикации: 15.05.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Иванисова А. С. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Марченко Д. М. – общее научное руководство, концептуализация исследований, критический анализ текста; Кононенко О. С. – выполнение полевых опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ДАРГО: НОВЫЙ ВЫСОКОУРОЖАЙНЫЙ СОРТ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К МУЧНИСТОЙ РОСЕ И БУРОЙ РЖАВЧИНЕ

С. В. Косенко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, s.kosenko.pnz@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-3214-153X
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр лубяных культур»,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56; e-mail: info@fncl.ru

В данной работе представлены результаты исследований, посвященных созданию и изучению нового сорта озимой мягкой пшеницы, получившего название «Дарго». Целью селекции было получение и характеристика сорта, оптимально адаптированного к условиям лесостепи Среднего Поволжья и обладающего генетически обусловленной устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине. Методом внутривидовой гибридизации и последующим индивидуальным отбором элитных растений в поколении F₃, полученном от скрещивания сортов Волжская100 (Ульяновский НИИСХ), Самарянка (Самарский НИИСХ) и Century (США), специалистами ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП «Пензенский НИИСХ» был создан новый сорт озимой мягкой пшеницы Дарго. В работе приводятся подробные данные о морфологических особенностях и хозяйственно-биологических характеристиках нового сорта. Результаты испытаний в 2021–2023 гг. показали, что сорт Дарго демонстрирует статистически достоверное увеличение урожайности зерна по сравнению с сортом Фотинья, используемым в качестве стандарта. Преимущество в урожайности составило в среднем 0,73 т/га. Высокий уровень урожайности Дарго обеспечивается, в частности, за счет увеличенной массы 1000 зерен (40,6 г), большего количества зерен в колосе (52 шт.) и повышенной массы зерна, формирующегося в одном колосе (2,11 г). К числу ценных характеристик сорта относятся также высокая зимостойкость (около 95 %) и практически полная устойчивость к поражению мучнистой росой и бурой ржавчиной. Кроме того, Дарго формирует зерно с высокими потребительскими качествами: натура зерна находится в диапазоне 750–790 г/л, содержание белка – 15,4–16,7 %, содержание клейковины – 28,2–30,4 %, качество клейковины – 86–95 ед. ИДК. Экономический анализ выявил, что возделывание сорта Дарго позволяет получить на 8160 руб. больше прибыли с гектара по сравнению с возделыванием сорта Фотинья. Сорт Дарго демонстрирует более высокую рентабельность производства (138 %) по сравнению с сортом Фотинья (114 %).

Ключевые слова: пшеница озимая, селекционный процесс, устойчивость к патогенам, масса и число зерен в колосе, масса 1000 зерен.

Для цитирования: Косенко С. В. Дарго: новый высокоурожайный сорт озимой мягкой пшеницы с устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 16–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-16-20.



A NEW HIGHLY PRODUCTIVE WINTER COMMON WHEAT VARIETY 'DARGO' RESISTANT TO POWDERY MILDEW AND BROWN RUST

S. V. Kosenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding technologies, s.kosenko.pnz@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-3214-153X
Federal State Budget Research Institution «Federal Research Center for Bast Fiber Crops»
170041, Tver, Komsomolsky Av., 17/56; e-mail: info@fncl.ru

The current paper has presented the results of the development and study of a new winter common wheat variety 'Dargo'. The purpose of breeding was to obtain and characterize a variety optimally adapted to the forest-steppe conditions of the Middle Volga region with genetically determined resistance to powdery mildew and brown rust. A new winter common wheat variety 'Dargo' has been developed by the researchers of the Penza RIA using the method of intraspecific hybridization and subsequent individual selection of basic plants in the generation F₃, obtained from crossing the varieties 'Volzhskaya100' (Ulyanovsk RIA), 'Samaryanka' (Samara RIA) and Century (US). The current paper has presented detailed data on the morphological features and economic and biological characteristics of the new variety. The 2021–2023 testing results have shown that the variety 'Dargo' demonstrates a statistically significant grain productivity improvement compared to the standard variety 'Fotinya'. The productivity advantage averaged 0.73 t/ha. The large productivity of 'Dargo' is ensured by the increased 1000-grain weight (40.6 g), a larger number of grains per ear (52 pcs.) and an increased grain weight per ear (2.11 g). The valuable characteristics of the variety also include high winter resistance (about 95 %) and almost complete resistance to powdery mildew and brown rust. In addition, 'Dargo' produces grain with high consumer qualities, namely 750–790 g/l of grain nature weight, 15.4–16.7 % of protein, 28.2–30.4 % of gluten with 86–95 u. of GDI. Economic analysis has revealed that cultivation of the variety 'Dargo' is by 8160 rubles more profitable per hectare compared to that of the variety 'Fotinya'. The variety 'Dargo' has demonstrated higher production profitability (138 %) compared to the variety 'Fotinya' (114 %).

Keywords: winter wheat, breeding process, resistance to pathogens, weight and number of grains per ear, 1000-grain weight.

Введение. Пшеница – это одна из самых древних культур земного шара. Она является главным стратегическим продуктом, от которого зависит стабильность функционирования аграрного рынка и продовольственная безопасность страны (Жученко, 2009).

Рост объемов производства зерна пшеницы связан не только с увеличением посевных площадей, внедрением интенсивных технологий, совершенствованием средств защиты растений и т.д. Большая роль отводится сорту, он является ведущим фактором роста урожайности и, соответственно, увеличения валовых сборов (Грабовец и др., 2021; Сандухадзе и др., 2021; Левакова и др., 2023; Иванисова и Марченко, 2024). Разработка и внедрение новых сортов в производство является движущей силой научно-технического прогресса в растениеводстве. По данным разных источников, новые сорта обеспечивают от 25 до 50 % прироста урожайности (Иванисова и Марченко, 2024). В условиях Среднего Поволжья наибольшее негативное влияние на урожайность озимой мягкой пшеницы оказывают биотические факторы, в частности, фитопатогены (Шаманин и др., 2024). Среди них выделяются особо вредоносные заболевания, такие как бурая ржавчина (*Puccinia recondita*) и мучнистая роса (*Erysiphe graminis*). Они являются распространёнными болезнями, которые могут приводить к значительным потерям урожая, достигающим 30 % в отдельные годы (Wu et al., 2023).

Для обеспечения надежной и экологически чистой защиты пшеницы от мучнистой росы и бурой ржавчины целесообразно использовать сорта, обладающие генами устойчивости. Этот подход, получивший широкое распространение благодаря работам Нормана Борлоуга в 1960-е годы (Borlaug, 1954), позволяет минимизировать применение химических средств защиты. Однако изменчивость патогенов, вызывающих ржавчину, приводит к появлению новых, более агрессивных рас, способных преодолевать устойчивость сортов, что создает серьезные риски для сельского хозяйства и продовольственного обеспечения. В связи с этим селекционная работа, направленная на создание устойчивых сортов, осложняется необходимостью учитывать высокую адаптивность патогенов. Решением данной проблемы может стать создание сортов с полигенным типом устойчивости, обеспечивающим более длительную и надежную защиту растений по сравнению с сортами, обладающими моногенной устойчивостью (Баранова и др., 2024).

Целью исследований являлось создание нового сорта озимой мягкой пшеницы, оптимально адаптированного к условиям лесостепи Среднего Поволжья и обладающего генетической обусловленной устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине, и его характеристика.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили с 2021 по 2023 г. в ОП «Пензенский НИИСХ» ФГБНУ ФНЦ ЛК, располо-

женного в Пензенской области, для которой характерен умеренно-континентальный климат. Почвенный покров опытного участка представлен выщелоченным черноземом, характеризующимся средней мощностью и средним содержанием гумуса; глубина пахотного слоя варьирует от 35 до 40 см. Реакция почвенного раствора слабокислая, pH = 5,5 (Ганжара и др., 2002).

В годы исследований наблюдались различия в метеорологических условиях по температуре и осадкам. В 2022 и 2023 гг. период «отрастание – восковая спелость» оказался благоприятным, с достаточным количеством осадков (173,4 и 175,5 мм, что выше среднегодовой нормы на 25 и 24,2 мм соответственно) и среднесуточной температурой, близкой к норме (15,2 и 15,6 °С, что выше среднегодовой нормы на 0,5 и 0,4 °С соответственно), при этом ГТК составил 1,16 и 1,22 соответственно. В 2021 г. в фазе «выход в трубку – колошение» наблюдалась сильная засуха с выпадением всего 5 мм осадков, что значительно ниже среднегодовых значений – на 35,4 мм. В этот период также отмечались повышенные среднесуточные температуры воздуха (до 19,5 °С), превышающие среднегодовые значения на 3,8 °С. Значение ГТК в 2021 г. составило 0,13, что свидетельствует об остро засушливых условиях, которые могут привести к снижению массы 1000 зерен и снижению урожайности.

Посев в питомнике конкурсного сортоиспытания осуществляли в первой декаде сентября во все годы исследований после предшественника чистого пара без внесения удобрений с использованием сеялки ССН-7. Площадь каждой делянки составляла 25 м², опыт проводился в трехкратной повторности. Норма высева составляла 5,5 млн всхожих зерен на гектар, глубина посева – 5 см. Обмолот проводили малогабаритным комбайном «Сампо-130» при достижении полной спелости. Районированный сорт озимой мягкой пшеницы Фотинья был использован в качестве стандарта для сравнения.

Оценка зимостойкости растений, фенологические наблюдения и анализ структуры урожая проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989). Определение степени поражения растений болезнями осуществляли на основе «Методики по оценке устойчивости сортов полевых культур к болезням на инфекционных и провокационных фонах» (Захаренко и др., 2000). Физико-химические показатели качества зерна определяли стандартными методами: массу 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89, натуру зерна – по ГОСТ 10840-64, количество и качество клейковины – по ГОСТ 54478-2011, стекловидность – по ГОСТ 10987-76. Содержание белка в зерне определяли по методу Кьельдаля. Для статистической обработки экспериментальных данных был применен дисперсионный анализ (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Достижение высоких результатов в селекции напрямую связано с тщательным отбором генетического материала и применением оптимальных методов (Cobb et al., 2023). Исходя из этого, для проведения селекционных работ были отобраны сорта озимой мягкой пшеницы, обладающие ценными хозяйственными признаками, с акцентом на устойчивость к наиболее распространенным болезням – мучнистой росе и бурой ржавчине. В качестве исходных родительских форм использовались сорта Волжская 100 (селекции Ульяновского НИИСХ) и Самарянка (селекции Самарского НИИСХ), характеризующиеся повышенной зимостойкостью и высокой продуктивностью, а также американский сорт Century, содержащий гены устойчивости *Lr24* к бурой ржавчине и *Pm5*, *Pm11*, *Pm15*, *Pm17* к мучнистой росе. Процесс гибридизации был начат в 2011 г. со скрещивания исходных форм. Элитное растение было выделено в 2014 г., после чего проходило начальные этапы селекционного процесса, а с 2021 по 2023 г. –

конкурсное сортоиспытание. По итогам этих испытаний в 2023 г. селекционная линия Лютесценс 26/11-2-14 была передана для прохождения государственного сортоиспытания под новым названием – Дарго.

Lutescens – таксономическая разновидность, к которой принадлежит данный сорт. В период кущения растения формируют куст промежуточного типа. Колос имеет белый цвет, ости отсутствуют. Форма колоса – пирамидальная, длина составляет 8,7–11,0 см. Колосковые чешуи овальные короткие с четко выраженными жилками и заметным килем. Зубчик колосковой чешуи прямой небольшой. Плечо колосковой чешуи широкое с прямой формой. Зерновка имеет средний размер и яйцевидную форму, бороздка на зерне неглубокая. Масса 1000 зерен варьирует в пределах 35,5–42,4 г.

Основные хозяйственно-биологические признаки и свойства сорта озимой мягкой пшеницы Дарго подробно представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика нового сорта пшеницы мягкой озимой Дарго (2021–2023 гг.)
Table 1. Characteristics of the new winter common wheat variety 'Dargo' (2021–2023)

Наименование признаков и свойств	Дарго		Фотинья, st	
	min–max	сред.	min–max	сред.
2021 г. НСР ₀₅ = 0,10	–	2,95	–	2,55
2022 г. НСР ₀₅ = 0,39	–	7,40	–	6,75
2023 г. НСР ₀₅ = 0,20	–	7,94	–	6,80
средняя	–	6,10	–	5,37
± st	–	0,73	–	–
Зимостойкость, %	92–98	95	95–100	96
Устойчивость к полеганию, балл	9	9	7–9	7,7
Высота растения, см	101–103	102	114–122	119
Период «отрастание – колошение», сутки	52–78	63	49–77	61
Степень поражения мучнистой росой, %	0	0	1–5	2
Степень поражения бурой ржавчиной, %	0	0	5–10	5
Масса 1000 зерен, г	35,5–42,4	40,6	33,7–41,6	38,9
Стекловидность, %	97–100	98	96–100	98
Натура, г/л	750–790	770	750–805	775
Массовая доля клейковины в зерне, %	28,2–30,4	29,3	28,4–30,8	29,2
Показатель качества клейковины (ИДК), ед.	86–95	90	60–90	80
Содержание сырого протеина, %	15,4–16,7	15,6	14,2–15,4	14,9

Сорт относится к среднеспелой группе, вегетационный период составляет 302–307 дней. Средняя высота растений – 102 см. Отличительной особенностью сорта является высокая устойчивость к полеганию (9 баллов), а также отсутствие поражения бурой ржавчиной и мучнистой росой. Успешная адаптация сорта Дарго к условиям лесостепи Среднего Поволжья обусловлена его высокой зимостойкостью (в среднем 95 %).

Озимая мягкая пшеница Дарго отличается стабильным формированием зерна с высокими показателями качества. Сорт формирует зерно высокого качества, о чем свидетельствуют следующие показатели: натура – от 750 до 790 г/л, содержание белка – от 15,4 до 16,7 %, содержание клейковины – от 28,2 до 30,4 %, ка-

чество клейковины (ИДК) – в диапазоне от 86 до 95 единиц.

Анализ экономической эффективности нового сорта проводили с учетом рыночных цен, затрат на производство и урожайности. Детальная информация представлена в таблице 2.

Сорт Дарго обладает более высокой продуктивностью (6,10 т/га) по сравнению с сортом Фотинья (5,37 т/га). Превышение урожайности составляет 0,73 т/га. Благодаря более высокой урожайности сорт Дарго обеспечивает большую выручку от реализации продукции (73 200 руб./га) по сравнению с сортом Фотинья (64 440 руб./га). Себестоимость производства 1 т зерна у сорта Дарго ниже (5032 руб.) по сравнению с сортом Фотинья (5605 руб.),

что свидетельствует о большей эффективности использования ресурсов. Снижение себестоимости составляет 10,2 % относительно стандарта. При сравнении с сортом Фотинья сорт Дарго показывает более высокую эконо-

мическую эффективность: чистый доход с гектара составляет 42 500 руб. против 34 340 руб., а рентабельность производства – 138 % против 114 %.

Таблица 2. Средние показатели экономической эффективности внедрения сорта Дарго (озимая мягкая пшеница) за период 2021–2023 годов
Table 2. Mean economic efficiency indicators of the use of the variety 'Dargo' (winter common wheat) in 2021–2023

Признаки	Сорт	
	Дарго	Фотинья, st
Урожайность зерна, т/га	6,1	5,37
Превышение урожайности над стандартом, т/га	–	0,73
Средняя рыночная цена зерна, руб./т	12 000	12 000
Выручка от реализации продукции, руб./га	73 200	64 440
Производственные издержки, руб./га	30 700	30 100
Себестоимость 1 т зерна, руб.	5032	5605
Снижения себестоимости (относительно стандарта), %	10,2	–
Условно чистый доход с 1 гектара посевов, руб.	42 500	34 340
Рентабельность производства, %	138	114

Выводы. В результате селекционной работы был получен новый сорт озимой мягкой пшеницы Дарго, сочетающий высокую урожайность (в среднем 6,10 т/га), повышенную зимостойкость (около 95 %), иммунитет к бурой ржавчине и мучнистой росе (степень поражения 0 %) и формирующий зерно высокого качества. По сравнению со стандартом Фотинья Дарго обладает значительными экономически-

ми преимуществами, обусловленными более высокой урожайностью, снижением себестоимости производства и, как следствие, увеличением чистого дохода и рентабельности.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0008).

Библиографический список

1. Баранова О. А., Адонина И. Г., Сибикеев С. Н. Молекулярно-цитогенетическая характеристика новых интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 28, № 4. С. 377–386. DOI: 10.18699/vjgb-24-43
2. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. Практикум по почвоведению. Ч. 1. / под ред. Н. Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
3. Грабовец А. И., Фоменко М. А., Олейникова Т. А. Новые сорта озимой мягкой пшеницы – итог реализации разработок по селекции на продуктивность и адаптивность // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 19–23. DOI: 10.30850/vrsn/2021/2/19-23
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 издание, перераб. и доп., стереотип. изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Жученко А. А. Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 273 с.
6. Захаренко В. А., Медведев А. М., Ерохина С. А., Коваленко Е. Д., Добровольская Г. В., Михайлов А. А. Методика по оценке устойчивости сортов полевых культур к болезням на инфекционных и провокационных фонах. М.: Россельхозакадемия, 2000. 70 с.
7. Иванисова А. С., Марченко Д. М. Использование селекционных индексов при оценке продуктивности озимой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2024. № 8. С. 150–154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154
8. Левакова О. В., Гладышева О. В., Костаньянц М. И. Сравнительный анализ зерновой урожайности и биометрических элементов сортов пшеницы озимой в зависимости от периодов сортосмены // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 42–47. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-42-47
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под ред. М. А. Федина. М.: Колос, 1989. 194 с.
10. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: История, методы и результаты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-0.
11. Шаманин В. П., Потоцкая И. В., Чурсин А. С., Шепелев С. С., Нардин Д. С., Пожерукова В. Е., Кексель Х., Моргунов А. И. Селекция сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с функциональными свойствами зерна для экологически чистого выращивания в Западной Сибири // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59(3), С. 492–506. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.3.492rus
12. Borlaug, N. E. Mexican wheat production und its role in the epidemiology of stem rust in north America // Phitopathology. 1954. Vol. 44, № 8. P. 398–404.

13. Cobb J. N., Juma R. U., Biswas P. S. et al. Enhancing the rate of genetic gain in public-sector plant breeding programs: lessons from the breeder's equation // *Theor Appl Genet*. 2019. Vol. 132, P. 627–645. DOI: 10.1007/s00122-019-03317-0
14. Wu X., Zang C., Zhang Y., Xu Y., Wang S., Li T., Gao L. Characterization of wheat monogenic lines with known Sr genes and wheat cultivars for resistance to three new races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in China // *Journal of Integrative Agriculture*. 2023. Vol. 22, № 6. P. 1740–1749. DOI: 10.1016/j.jia.2022.08.125

References

1. Baranova O. A., Adonina I. G., Sibikeev S. N. Molekulyarno-tsitogeneticheskaya kharakteristika novykh introgressivnykh linii yarovoi myagkoi pshenitsy, ustoichivyykh k steblevoi rzhavchine [Molecular-cytogenetic characteristics of new introgressive lines of spring common wheat resistant to stem rust] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2024. T. 28, № 4. S. 377–386. DOI: 10.18699/vjgb-24-43
2. Ganzhara N. F., Borisov B. A., Baibekov R. F. Praktikum po pochvovedeniyu [Practical training in soil science]. Ch. 1. / pod redaktsiei N. F. Ganzhary. M.: Agrokonsalt, 2002. 280 s.
3. Grabovets A. I., Fomenko M. A., Oleinikova T. A. Novye sorta ozimoi myagkoi pshenitsy – itog realizatsii razrabotok po selektsii na produktivnost' i adaptivnost' [New winter common wheat varieties as the result of the implementation of breeding technologies for productivity and adaptability] // *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2021. № 2. S. 19–23. DOI: 10.30850/vrsn/2021/2/19-23
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5 izdanie, pererab. i dop. Stereotip. izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Zhuchenko A. A. Obespechenie prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii v XXI veke na osnove adaptivnoi strategii ustoichivogo razvitiya APK: (teoriya i praktika) [Ensuring food security in Russia in the 21st century based on an adaptive strategy for sustainable development of the agro-industrial complex: (theory and practice)]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2009. 273 s.
6. Zakharenko V. A., Medvedev A. M., Erokhina S. A., Kovalenko E. D., Dobrovolskaya G. V., Mikhailov A. A. Metodika po otsenke ustoichivosti sortov polevykh kul'tur k boleznyam na infektsionnykh i provokatsionnykh fonakh [Methodology for estimating field crop varieties' resistance to diseases on infectious and provocative backgrounds]. M.: Rossel'khozakademiya, 2000. 70 s.
7. Ivanisova A. S., Marchenko D. M. Ispol'zovanie selektsionnykh indeksov pri otsenke produktivnosti ozimoi tvrdoi pshenitsy [The use of breeding indices to estimate winter durum wheat productivity] // *Agrarnaya nauka*. 2024. № 8. S. 150–154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154
8. Levakova O. V., Gladysheva O. V., Kostan'yants M. I. Sravnitel'nyi analiz zernovoi urozhainosti i biometricheskikh elementov sortov pshenitsy ozimoi v zavisimosti ot periodov sortosmeny [Comparative analysis of grain productivity and biometric elements of winter wheat varieties depending on the periods of variety change] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 3. S. 42–47. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-42-47
9. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops: grains, cereals, legumes, maize, and forage crops] / pod red. M. A. Fedina M.: Kolos, 1989. 194 s.
10. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Nauchnaya selektsiya ozimoi myagkoi pshenitsy v Nechernozemnoi zone Rossii: Istoriya, metody i rezul'taty [Scientific winter common wheat breeding in the Non-Blackearth zone of Russia: History, methods and results] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2021. T. 25, № 4. S. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-0.
11. Shamanin V. P., Pototskaya I. V., Chursin A. S., Shepelev S. S., Nardin D. S., Pozherukova V. E., Keksel' Kh., Morgunov A. I. Seleksiya sortov yarovoi myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) s funktsional'nymi svoistvami zerna dlya ekologicheskoi chistogo vyrashchivaniya v Zapadnoi Sibiri [Breeding of spring common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) with functional properties of grain for environmentally friendly cultivation in Western Siberia] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2024. T. 59(3), S. 492–506. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.3.492rus
12. Borlaug, N. E. Mexican wheat production und its role in the epidemiology of stem rust in north America // *Phitopathology*. 1954. Vol. 44, № 8. P. 398–404.
13. Cobb J. N., Juma R. U., Biswas P. S. et al. Enhancing the rate of genetic gain in public-sector plant breeding programs: lessons from the breeder's equation // *Theor Appl Genet*. 2019. Vol. 132, P. 627–645. DOI: 10.1007/s00122-019-03317-0
14. Wu X., Zang C., Zhang Y., Xu Y., Wang S., Li T., Gao L. Characterization of wheat monogenic lines with known Sr genes and wheat cultivars for resistance to three new races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in China // *Journal of Integrative Agriculture*. 2023. Vol. 22, № 6. P. 1740–1749. DOI: 10.1016/j.jia.2022.08.125

Поступила: 19.03.25; доработана после рецензирования: 15.05.25; принята к публикации: 15.05.25.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью полное право и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Косенко С. В. – концептуализация исследования, подготовка рукописи, анализ данных и их интерпретация, проведение полевого опыта.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ РАННЕСПЕЛЫХ И СРЕДНЕРАННИХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-460;
Н. А. Шевченко, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, kck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
ФГБНУ *Аграрный научный центр «Донской»*,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Исследования проведены в шести научно-исследовательских учреждениях Российской Федерации: ВНИИ кукурузы (Ставропольский край), Белгородском ФАНЦ (Белгородская область), ССЦ «Отбор» (Кабардино-Балкарская Республика), ООО «Семеноводство Кубани», НЦЗ им. П. П. Лукьяненко (Краснодарский край), АНЦ «Донской» (Ростовская область). Исследования проведены в 2022–2024 гг., ежегодно изучали 13–15 гибридов, включая стандарты. Новые гибриды были созданы методом межлинейной гибридизации. Полевые опыты заложены согласно Методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кукурузой. Цель исследований – изучение новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы в конкретных почвенно-климатических условиях для оценки потенциала урожая зерна и выявления зон, пригодных для их возделывания. Проведенные исследования позволили выявить новый раннеспелый гибрид кукурузы Витязь МВ, пригодный для выращивания в различных почвенно-климатических зонах России. Он превысил в среднем по всем пунктам по урожайности зерна стандарты – лучшие отечественные раннеспелые гибриды кукурузы Росс 140 СВ, Машук 168, Краснодарский 194 МВ на 0,43–1,64 т/га, не уступал по урожайности лучшим зарубежным стандартам. Выделен новый раннеспелый гибрид Зерноградский 181 МВ, он представляет практическую ценность для сельхозпроизводителей, однако необходим избирательный подход для его внедрения. Лучшие результаты получены в Ростовской области, Ставропольском и Краснодарском краях. В отдельных пунктах ежегодно выделялись раннеспелые и среднеранние гибридные комбинации: в 2022 г. – ЗЕ 200 – 60-2 (8,90 т/га) в Белгородском ФАНЦ, в 2023 г. – ЗЕ 170 – 60-3 (8,72 т/га) в ССЦ «Отбор», ЗЕ 200 – 60-3 (8,57 т/га) в НЦЗ имени П. П. Лукьяненко и др.

Ключевые слова: кукуруза (*Zéa máys L*), гибрид, адаптивность, экологическое испытание, урожайность зерна, индекс засухоустойчивости.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Шевченко Н. А. Экологическое изучение новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы // *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17, № 4. С. 21–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-21-28.



ECOLOGICAL STUDY OF NEW EARLY AND MIDDLE-EARLY MAIZE HYBRIDS

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;
N. A. Shevchenko, technician-researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, kck-bass@inbox.ru ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
FSBSI *Agricultural Research Center “Donskoy”*,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current study was conducted in six research institutions of the Russian Federation, namely the ARRIM (Stavropol Territory), the Belgorod FARC (the Belgorod region), the BSPC “Otbor” (Kabardino-Balkarian Republic), the LLC “Semenovodstvo Kubani”, the NCG named after P.P. Lukyanenko (Krasnodar Territory), and the ARC “Donskoy” (the Rostov region). The study was conducted in 2022–2024, annually studying 13–15 hybrids, including standards. There have been developed new hybrids by interline hybridization. Field trials were laid out in accordance with the Methodological recommendations for conducting field trials with maize. The purpose was to study new early-maturing and middle-early maize hybrids in specific soil and climatic conditions to estimate the grain productivity potential and identify the areas suitable for their cultivation. The conducted study has allowed identifying a new early-ripening maize hybrid ‘Vityaz MV’ suitable for cultivation in various soil and climatic areas of Russia. The grain productivity of the hybrid exceeded the mean values of the standards, including the best domestic early-maturing maize hybrids ‘Ross 140 SV’, ‘Mashuk 168’, ‘Krasnodarsky 194 MV’ by 0.43–1.64 t/ha, and was not inferior in productivity to the best foreign standards. There has been identified a new early-maturing hybrid ‘Zernogradsky 181 MV’ with practical value for agricultural producers, but a selective approach is required for its use. The best results were obtained in the Rostov Region, Stavropol, and Krasnodar Territories. There were annually identified such early and middle-early hybrid combinations as ‘ZE 200 – 60-2’ (8.90 t/ha) in the Belgorod FARC in 2022; ‘ZE 170 – 60-3’ (8.72 t/ha) in the BSPC “Otbor” and ‘ZE 200 – 60-3’ (8.57 t/ha) in the NCG named after P.P. Lukyanenko in 2023.

Keywords: maize (*Zéa máys L*), hybrid, adaptability, ecological testing, grain productivity, drought resistance index.

Введение. Адаптивность сортов и гибридов сельскохозяйственных культур к зонам выращивания определяет целесообразность их возделывания в каждой конкретной зоне. Одной из важнейших экологических особенностей кукурузы является ее широкая норма реакции на изменение условий среды (Сотченко и др., 2020). Так как кукуруза является ведущей по продуктивности среди сельскохозяйственных культур, для нее особенно важно изучение потенциала продуктивности новых гибридов, что может быть решено благодаря агроэкологическому испытанию (Бельченко и др., 2021). Экологическое испытание может определить пригодность новых сортов или гибридов различных культур, в том числе кукурузы, для возделывания в конкретном регионе, определить ареал возможного их распространения (Мадыкин, 2018). Результаты этих исследований позволяют использовать новые гибриды не только в районах их непосредственного создания, но и продвигать их на другие территории, более подходящие для условий возделывания, что, в свою очередь, позволяет оптимизировать производство и сократить затраты (Новичихин и др., 2023).

Особенно важно проведение экологического испытания раннеспелых гибридов кукурузы, ареал возделывания которых может быть обширен, так как они способны вызревать не только на юге, но и в более северных широтах – в зонах с коротким безморозным периодом (Дронов и др., 2020). В этом плане одной из важнейших целей экологического испытания гибридов кукурузы может стать выявление пригодных для выращивания в условиях с лимитированным периодом вегетации (Орлянская и др., 2023).

Изучение адаптивных особенностей родительских форм гибридов кукурузы может быть полезным для выявления возможности ведения семеноводства этих гибридов (Горбачева и др., 2023), а также для целенаправленного использования в селекционном процессе родительских форм (Кривошеев и др., 2023).

Цель исследований – изучение новых раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы в конкретных почвенно-климатических условиях для оценки потенциала урожая зерна и выявления зон, пригодных для их возделывания.

Материалы и методы исследований.

В качестве объекта исследований ежегодно использовали от 13 до 15 новых и стандартных гибридов кукурузы раннеспелой и среднеранней групп. В раннеспелой группе (ФАО 170) с продолжительностью периода вегетации 95–100 дней стандартами были взяты лучшие отечественные раннеспелые гибриды: Росс 140 СВ, Машук 168 и Краснодарский 194 МВ. Кроме того, ежегодно в раннеспелую группу в качестве стандарта был включен один из лучших зарубежных гибридов кукурузы: Мас 10а (2022 г.), Р 7043 (2023 г.), Р8307 (2024 г.). Новые раннеспелые гибриды кукурузы Витязь

МВ и Зерноградский 181 МВ селекции АНЦ «Донской» изучались ежегодно в 2022–2024 гг., дополнительно в эту группу были включены новые гибридные комбинации, которые ежегодно менялись.

В среднеранней группе с продолжительностью вегетации 100–105 дней ежегодно были использованы в качестве стандартов отечественные гибриды Ладожский 221 МВ и Краснодарский 194 МВ. Гибрид Краснодарский 194 МВ взят в качестве стандарта в раннеспелой и среднеранней группах в связи с тем, что по спелости он находится на границе этих двух групп. В качестве зарубежного стандарта в 2022 и 2023 гг. использовали гибрид Р 8307, а в 2024 г. – Агро Янус. Учитывая, что зарубежные стандарты относились к одной группе спелости, являясь простыми высокоурожайными гибридами, данные урожайности зерна этих гибридов были усреднены за 3 года и представлены как средняя урожайность зерна иностранного раннеспелого и среднераннего стандартов. В среднеранней группе в 2022–2024 гг. изучали три новых гибрида селекции АНЦ «Донской», состав гибридов ежегодно менялся.

Новые гибриды кукурузы селекции АНЦ «Донской» относятся к простым и трехлинейным, созданы методом межлинейной гибридизации. Полевые опыты заложены согласно Методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кукурузой (1980).

Экологическое испытание проведено в шести пунктах, контрастных по почвенно-климатическим условиям: ВНИИ кукурузы (Ставропольский край), Белгородском ФАНЦ (Белгородская область), ССЦ «Отбор» (Кабардино-Балкарская Республика), ООО «Семеноводство Кубани», НЦЗ им. П. П. Лукьяненко (Краснодарский край), АНЦ «Донской» (Ростовская область). Для кукурузы как влаголюбивой культуры в первую очередь важна влагообеспеченность в период вегетации растений. Самым засушливым пунктом испытания во все годы исследований оказался город Зерноград (АНЦ «Донской», Ростовская область). Так, в 2022 г. количество осадков за период вегетации растений кукурузы (май – август) составило 132 мм при среднемноголетней норме 225,5 мм, ГТК равнялся 0,49 (среднемноголетняя значение – 0,89). В 2023 г. выпало за вегетационный период 218,2 мм атмосферных осадков (96,8 % к норме), ГТК составил 0,83. Крайне засушливым оказался 2024 г. – 63,8 мм осадков (28,3 % к норме), ГТК – 0,22.

Самым влагообеспеченным пунктом экологического испытания оказался поселок Комсомольский (ССЦ «Отбор», Кабардино-Балкарская Республика). Количество выпавших атмосферных осадков составило: 2023 г. – 161,8 мм, 2023 г. – 335,2 мм, 2024 г. – 90,4 мм. В дополнение к атмосферным осадкам здесь были проведены вегетационные поливы (орошение) поливной нормой 400 м³/га, от одного до трех поливов ежегодно в зависимости от ув-

лаженности почвы. Это способствовало тому, что ГТК во все годы проведения исследований здесь был выше единицы. Остальные пункты по влагообеспеченности занимали промежуточное положение между АНЦ «Донской» и ССЦ «Отбор». Во всех учреждениях самым засушливым оказался 2024 г., а самым влагообеспеченным – 2023 год.

Результаты и их обсуждение. Различия почвенно-климатических условий пунктов испытания явились следствием значительных отличий в уровне урожайности зерна в этих

пунктах. В среднем по раннеспелым гибридам в 2022 г. наиболее высокий урожай зерна сформирован в Кабардино-Балкарии – ССЦ «Отбор» (8,06 т/га) в благоприятных условиях (орошение). Наименьший урожай зерна получен в самом засушливом пункте – АНЦ «Донской» (2,92 т/га). В среднем по 6 пунктам наиболее урожайным оказался отечественный стандарт Краснодарский 194 МВ – 7,30 т/га. Зарубежный стандарт Мас 10а незначительно ему уступал (7,0 т/га) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна гибридов кукурузы в пунктах экологического испытания, т/га (2022 г.)

Table 1. Grain productivity of maize hybrids at ecological testing places, t/ha (2022)

Гибрид	ВНИИК	Белгородский ФАНЦ	ССЦ «Отбор»	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	ООО «Семеноводство Кубани»	АНЦ «Донской»	X _{ср.}
Раннеспелые (ФАО 170)							
Росс 140 СВ, st	4,82	6,10	6,95	4,77	6,79	2,35	5,30
Байкал, st	5,20	5,80	6,41	4,93	6,16	2,59	5,18
Краснодарский 194 МВ, st	7,73	8,70	8,09	6,81	9,15	3,33	7,30
Мас10а, st	5,99	6,90	10,33	6,85	8,62	3,31	7,00
Витязь МВ	6,43	8,40	9,70	6,44	8,21	3,95	7,19
Зерноградский 181 МВ	6,61	7,80	9,71	7,19	8,36	2,92	7,10
ЗЕ 170-61-2	5,26	5,90	7,19	5,57	6,50	2,30	5,45
ЗЕ 170-62-2	6,22	7,80	6,09	4,97	7,93	2,60	5,94
X _{ср.}	6,03	7,18	8,06	5,94	7,72	2,92	6,31
НСР _{0,5}	0,58	0,62	0,61	0,47	0,66	0,21	
Среднеранние (ФАО 200)							
Краснодарский 194 МВ, st	5,84	7,20	8,09	6,81	8,10	3,03	6,51
Ладожский 221 АМВ, st	7,92	8,10	10,60	7,31	10,12	4,19	8,04
Р 8307, st	7,44	7,70	12,43	7,54	10,63	3,77	8,25
ЗЕ 200-59-2	6,25	6,20	8,56	6,75	5,30	3,30	6,06
ЗЕ 200-60-2	6,50	8,90	8,96	5,92	9,19	4,54	7,34
ЗЕ 200-61-2	6,09	6,70	6,72	4,30	9,12	2,30	5,87
X _{ср.}	6,67	7,47	9,23	6,44	8,74	3,52	7,01
НСР _{0,5}	0,60	0,67	0,75	0,60	0,81	0,25	

Урожайность стандартов Росс 140 СВ (5,30 т/га) и Байкал (5,18 т/га) оказалась значительно ниже. В 2022 г. в среднем по пунктам в раннеспелой группе выделились гибриды Витязь МВ (7,19 т/га) и Зерноградский 181 МВ (7,10 т/га). Новые гибриды проявили высокую отзывчивость на влагообеспеченные условия в ССЦ «Отбор» (9,70 и 9,71 т/га соответственно) и оказались устойчивы к засухе в АНЦ «Донской», где гибрид Витязь МВ был самым урожайным (3,95 т/га).

В среднеранней группе урожайность зерна варьировала по пунктам от 3,52 т/га (АНЦ «Донской») до 9,23 т/га (ССЦ «Отбор»). Наибольший урожай в среднем по изучаемым пунктам получен у зарубежного стандарта Р 8307 (8,25 т/га), лучший среднеранний отечественный стандарт Ладожский 221АМВ незначительно уступал ему (8,04 т/га). В этой

группе спелости заслуживает внимания новый среднеранний гибрид ЗЕ 200 – 60-2. В среднем по пунктам (7,34 т/га) он уступал лучшим стандартам, однако в Белгородской области (8,90 т/га) и Ростовской (4,54 т/га) он сформировал максимальный урожай зерна, превысив все стандарты, в том числе и зарубежный.

Уровень урожайности гибридов кукурузы оказался самым высоким в 2023 г. (в среднем по всем пунктам и гибридам в раннеспелой группе – 6,34 т/га, в среднеранней – 7,33 т/га). Средняя урожайность зерна по пунктам изучения у раннеспелых гибридов варьировала от 4,65 т/га (АНЦ «Донской») до 8,11 т/га (ССЦ «Отбор»). Средняя урожайность по гибридам в раннеспелой группе составила 5,02–7,62 т/га. Среди стандартов высокой урожайностью (7,37 т/га) отличался зарубежный гибрид Р 7043 (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность зерна гибридов кукурузы в пунктах экологического испытания, т/га (2023 г.)
Table 2. Grain productivity of maize hybrids at ecological testing places, t/ha (2023)

Гибрид	ВНИИК	Белгородский ФАНЦ	ССЦ «Отбор»	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	ООО «Семеноводство Кубани»	АНЦ «Донской»	X _{ср.}
Раннеспелые (ФАО 170)							
Росс 140 СВ, st	5,82	4,60	5,82	3,77	5,84	4,27	5,02
Машук 168, st	6,21	5,00	8,11	5,40	7,82	3,08	5,94
Краснодарский 194 МВ, st	6,66	6,80	8,35	6,67	8,00	5,17	6,94
Р 7043, st	7,66	5,80	9,26	6,90	9,42	5,19	7,37
Витязь МВ	7,53	8,70	8,20	7,50	8,28	5,52	7,62
Зерноградский 181 МВ	6,95	6,70	8,31	7,61	6,75	5,21	6,92
ЗЕ 170-60-3	7,30	7,00	8,72	5,25	7,45	4,11	6,64
X _{ср.}	6,88	6,37	8,11	6,15	7,65	4,65	6,64
НСР _{0,5}	0,65	0,75	0,88	0,71	0,82	0,46	–
Среднеранние (ФАО 200)							
Краснодарский 194 МВ, st	6,58	6,80	9,04	6,67	8,00	4,98	7,01
Ладожский 221 АМВ, st	8,58	8,50	10,34	7,04	10,28	5,28	8,34
Р 8307, st	8,77	8,60	8,13	5,32	8,80	5,34	7,49
ЗЕ 200-59-3	7,03	6,70	7,69	7,68	7,38	5,72	7,03
ЗЕ 200-60-3	5,84	6,30	6,61	6,28	6,39	4,38	5,97
ЗЕ 200-61-3	7,87	9,30	9,63	8,57	8,21	5,13	8,12
X _{ср.}	7,45	7,70	8,57	6,93	8,18	5,14	7,33
НСР _{0,5}	0,60	0,65	0,71	0,66	0,83	0,46	–

В 2023 г. в раннеспелой группе лучшим оказался гибрид Витязь МВ (7,62 т/га), в среднем по пунктам изучения превысив все стандарты. Новый гибрид Зерноградский 181 МВ в среднем сформировал урожай зерна (6,92 т/га) на уровне лучшего отечественного стандарта Краснодарский 194 МВ (6,94 т/га). Важна реакция гибридов на условия тех зон, где они выращивались. Так, в Белгородской, Ростовской областях и Краснодарском крае (НЦЗ им. П. П. Лукьяненко) в 2023 г. они имели высокий урожай зерна, превысив в этих пунктах все высеваемые стандарты, в том числе и иностранный Р 7043. Следует также отметить новый раннеспелый гибрид ЗЕ 170 – 60-3, который в ССЦ «Отбор» (8,72 т/га) оказался лучшим среди новых гибридов, а в Белгородской области превосходил все стандартные гибриды.

В среднеранней группе средняя по пунктам изучения урожайность стандартов составила 7,01–8,34 т/га. Среди изучаемых новых гибридов наибольший интерес представляет

ЗЕ 200 – 60-3 (8,12 т/га в среднем по пунктам). В Белгородском ФАНЦ (9,30 т/га) и НЦЗ имени П. П. Лукьяненко (8,57 т/га) этот гибрид сформировал самый высокий урожай зерна среди всех новых и стандартных гибридов. По-видимому, он наиболее приспособлен к почвенно-климатическим условиям зон Белгородской области и Краснодарского края.

Несмотря на то что учреждения, в которых проведены экологические испытания, были удалены друг от друга, находясь в различных почвенно-климатических зонах, метеоусловия на европейской территории России в 2024 г. проявились таким образом, что во всех пунктах получено снижение урожая по сравнению с 2022 и 2023 годами. В раннеспелой группе в среднем по всем пунктам и гибридам в 2024 г. урожайность составила 3,59 т/га. Средняя урожайность по пунктам варьировала от 1,20 т/га (АНЦ «Донской») до 7,01 т/га (ССЦ «Отбор»), по стандартным гибридам – 2,38–4,23 т/га (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зерна гибридов кукурузы в пунктах экологического испытания, т/га (2024 г.)
Table 3. Grain productivity of maize hybrids at ecological testing places, t/ha (2024)

Гибрид	ВНИИК	Белгородский ФАНЦ	ССЦ «Отбор»	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	ООО «Семеноводство Кубани»	АНЦ «Донской»	X _{ср.}
Раннеспелые (ФАО 170)							
Росс 140 СВ, st	3,02	2,77	4,79	0,72	2,18	0,82	2,38
Машук 168, st	4,17	3,58	6,60	1,19	2,36	0,84	3,12
Краснодарский 194 МВ, st	3,70	4,42	7,23	2,06	2,89	1,18	3,58
Нестор, st	5,00	4,33	9,32	2,85	2,57	1,32	4,23
Витязь МВ	4,71	5,34	7,23	3,44	3,39	1,49	4,27
Зерноградский 181 МВ	4,58	4,25	5,46	2,37	3,23	1,47	3,56

Продолжение табл. 3

Гибрид	ВНИИК	Белгородский ФАНЦ	ССЦ «Отбор»	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	ООО «Семеноводство Кубани»	АНЦ «Донской»	X _{ср.}
ЗЕ 170-60-4	3,88	5,39	8,45	1,84	3,19	1,25	4,00
X _{ср.}	4,15	4,30	7,01	2,07	2,83	1,20	3,59
НСР _{0,5}	0,45	0,43	0,75	0,30	0,31	0,20	
Среднеранние (ФАО 200)							
Краснодарский 194 МВ, st	3,49	4,42	6,22	1,22	2,89	1,37	3,27
Ладожский 221 АМВ, st	5,11	5,39	10,55	1,89	4,05	1,30	4,72
Агро Янус, st	5,87	5,53	9,53	1,28	2,76	1,51	4,41
ЗЕ 200-59-4	4,06	4,56	8,51	2,27	1,93	1,55	3,81
ЗЕ 200-60-4	3,74	4,10	8,58	2,50	3,71	1,31	3,99
ЗЕ 200-61-4	4,21	4,90	7,56	3,61	2,64	1,33	4,04
X _{ср.}	4,38	4,74	8,28	2,50	2,97	1,37	4,04
НСР _{0,5}	0,45	0,45	0,82	0,30	0,25	0,20	

Лучшим оказался новый раннеспелый гибрид Витязь МВ, средняя урожайность по пунктам составила 4,27 т/га. При этом данный гибрид в четырех пунктах – Белгородский ФАНЦ (5,34 т/га), НЦЗ имени П. П. Лукьяненко (3,44 т/га), ООО «Семеноводство Кубани» (3,39 т/га) и АНЦ «Донской» (1,49 т/га) – сформировал самую высокую урожайность зерна среди новых гибридов и стандартов. Новый гибрид Зерноградский 181 МВ хорошо проявил себя в пунктах, оказавшихся в 2024 г. в засушливых условиях (НЦЗ имени П. П. Лукьяненко, ООО «Семеноводство Кубани», АНЦ «Донской»). В отличие от него новый гибрид ЗЕ 170 – 60-4, наоборот, оказался лучшим (5,39 т/га) в сравнительно благоприятных условиях (Белгородский ФАНЦ).

Уровень урожайности в 2024 г. в среднеранней группе также оказался низким (4,04 т/га в среднем по всем пунктам и гибридам). Лучше других проявил устойчивость к засухе в НЦЗ имени П. П. Лукьяненко новый гибрид ЗЕ 200 – 61-4 (3,61 ц/га), в ООО «Семеноводство Кубани» – ЗЕ 200 – 60-4 (3,71 т/га), в АНЦ «Донской» – ЗЕ 200 – 59-4 (1,55 т/га).

Несмотря на очень контрастные почвенно-климатические условия зон проведения экологического сортоиспытания, а также контрастные метеоусловия лет изучения, сравнительно стабильную высокую урожайность зерна и превосходство над стандартами проявили новые раннеспелые гибриды кукурузы Витязь МВ и Зерноградский 181 МВ (табл. 4).

Таблица 4. Отклонение урожайности зерна гибридов кукурузы Витязь МВ и Зерноградский 181 МВ от стандартов, т/га (2022–2024 гг.)
Table 4. Deviation of grain productivity of the maize hybrids 'Vityaz MV' and 'Zernogradsky 181 MV' from that of the standards, t/ha (2022–2024)

Гибрид	ВНИИК	Белгородский ФАНЦ	ООО ССЦ «Отбор»	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	ООО «Семеноводство Кубани»	АНЦ «Донской»	X _{ср.}
Витязь МВ							
Росс 140 СВ, st	+1,67	+2,99	+2,53	+2,63	+1,69	+1,17	+1,32
Машук 168, st	+1,03	+2,69	+1,34	+2,09	+1,18	+1,48	+1,64
Краснодарский 194 МВ, st	+0,19	+0,84	+0,49	+0,61	-0,05	+0,42	+0,43
Иностранный st*	0	+1,8	-1,26	+0,26	-0,24	+0,38	+0,16
НСР _{0,5}	0,55	0,61	0,48	0,40	0,41	0,35	–
Зерноградский 181 МВ							
Росс 140 СВ, st	+1,50	+1,76	+1,98	+2,56	+1,17	+0,72	+1,62
Машук 168, st	+0,86	+1,46	+0,79	+2,02	+0,66	+1,03	+1,14
Краснодарский 194 МВ, st	+0,02	-0,39	-0,06	+0,54	-0,57	-0,03	-0,08
Иностранный, st*	-0,17	+0,57	-1,81	+0,19	-0,76	-0,07	-0,34
НСР _{0,5}	0,55	0,38	0,50	0,51	0,45	0,41	–

Примечание. *2022 г. – Мас10а, 2023 г. – Р7043, 2024 г. – Нестор.

Отклонение в урожайности от стандартов в пунктах изучения наглядно демонстрирует практическую ценность этих гибридов. В первую очередь это имеет отношение к гибриду Витязь МВ. Он существенно превысил во всех учреждениях раннеспелый стандарт Росс 140 СВ

(на 1,17–2,99 т/га) и Машук 168 (на 1,03–2,69 т/га). Существенное превышение над лучшим отечественным стандартом Краснодарский 194 МВ он имел в Белгородском ФАНЦ, ССЦ «Отбор», НЦЗ имени П. П. Лукьяненко и АНЦ «Донской»

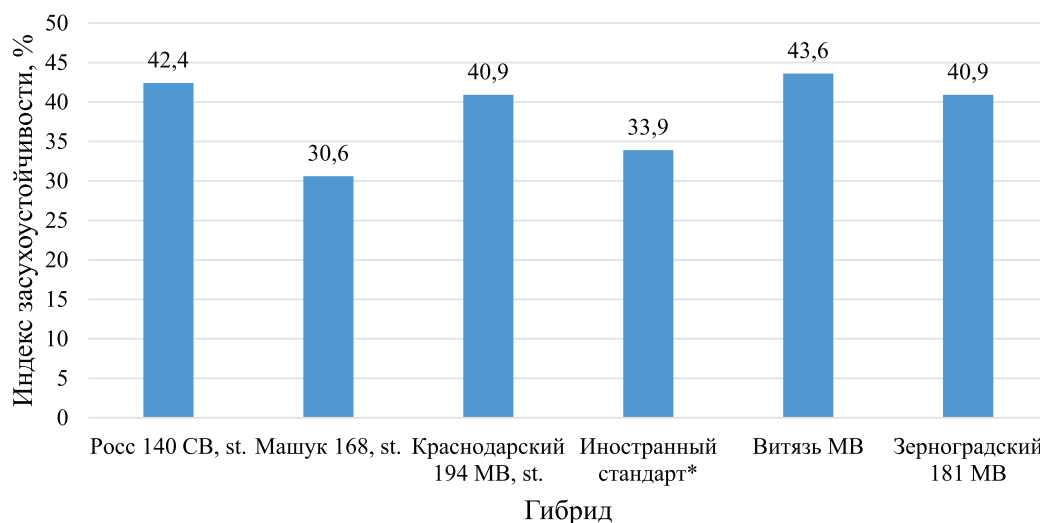
(0,42–0,84 т/га). Во ВНИИ кукурузы и ООО «Семеноводство Кубани» этот гибрид был равноценен стандарту Краснодарский 194 МВ (отклонение -0,19 +0,05). Новый гибрид существенно превосходил зарубежный стандарт в Белгородском ФАНЦ (1,80 т/га) и АНЦ «Донской» (0,38 т/га), а уступал ему в ССЦ «Отбор» (на 1,26 т/га). Во ВНИИ кукурузы, НЦЗ имени П. П. Лукьяненко и ООО «Семеноводство Кубани» новый гибрид оказался равноценен иностранному стандарту либо несущественно отличался по урожайности.

Усредненные отклонения (превышение над стандартом) по всем пунктам составили: Росс 140 СВ – 1,32 т/га, Машук 168 – 1,64 т/га, Краснодарский 194 МВ – 0,43 т/га, иностранный стандарт – 0,16 т/га. Полученные данные позволяют утверждать, что новый раннеспелый гибрид кукурузы Витязь МВ может иметь очень широкий ареал возделывания: Ростовская, Белгородская области, Ставропольский, Краснодарский края, Кабардино-Балкарская Республика.

Новый раннеспелый гибрид Зерноградский 181 МВ существенно превосходил во всех пунктах стандарт Росс 140 СВ (на 0,72–2,56 т/га) и Машук 168 (на 0,66–2,02 т/га). Достоверное превышение над лучшим отечественном стандартом

Краснодарский 194 МВ новый гибрид имел только в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (0,54 т/га), заметно уступал ему в Белгородском ФАНЦ (на 0,39 т/га) и ООО «Семеноводство Кубани» (на 0,57 т/га), в остальных пунктах существенных различий не отмечено. Зарубежный стандарт был превышен по урожайности зерна гибридом Зерноградский 181 МВ в Белгородском ФАНЦ (на 0,57 т/га), уступал стандарту в ССЦ «Отбор» (на 1,81 т/га) и в ООО «Семеноводство Кубани» (на 0,76 т/га). В остальных пунктах отличия от иностранного стандарта не было. Полученные данные позволяют утверждать, что новый раннеспелый гибрид представляет практическую ценность для сельхозпроизводителей, однако необходимо избирательно подходить к его внедрению. Лучшие результаты получены в НЦЗ имени П. П. Лукьяненко (Краснодарский край), АНЦ «Донской» (Ростовская область), ВНИИ кукурузы (Ставропольский край).

Испытание гибридов в контрастных условиях (засушливых – АНЦ «Донской») и во влагообеспеченных (в орошаемых условиях – ССЦ «Отбор») позволило оценить снижение урожайности зерна и определить индекс засухоустойчивости гибридов. Наиболее высоким индексом засухоустойчивости (43,6 %) отличался новый гибрид Витязь МВ (см. рисунок).



Индекс засухоустойчивости раннеспелых гибридов кукурузы (2022–2024 гг.)
Drought resistance index of the early-maturing maize hybrids (2022–2024)

Примечание. *2022 г. – Мас10а, 2023 г. – P7043, 2024 г. – Нестор.

Имея сравнительно высокий уровень урожайности в благоприятных условиях, он меньше других снижал урожай в засушливых условиях. Сравнительно высокий – 40,9 % – имел индекс засухоустойчивости новый гибрид Зерноградский 181 МВ. Примечательно, что урожайный раннеспелый иностранный стандарт характеризовался невысоким уровнем засухоустойчивости – 33,9 %. Имея высокий потенциал урожая зерна, который проявился

во влагообеспеченных условиях, этот гибрид более значительно снижал урожай зерна в условиях водного дефицита.

Выводы. Пункты экологического испытания оказались контрастными по почвенно-климатическим условиям. Средняя урожайность зерна гибридов кукурузы варьировала в зависимости от пункта: в раннеспелой группе в 2022 г. от 2,92 до 8,06 т/га, в среднеранней группе – от 3,52 до 8,57 т/га. В 2024 г. уровень

урожайности во всех пунктах испытания оказался наиболее низким, варьируя в раннеспелой группе от 1,20 до 7,01 т/га, в среднеранней – от 1,37 до 8,28 т/га.

Выделены новые раннеспелые гибриды кукурузы Витязь МВ и Зерноградский 181 МВ, которые в среднем за 2022–2024 гг. во всех пунктах существенно превышали по урожайности зерна стандарты Росс 140 СВ и Машук 168. Превышение в среднем по всем пун-

ктам гибрида Витязь МВ над стандартом Краснодарский 194 МВ составило 0,42 т/га, над зарубежным стандартом – 0,16 т/га.

В различные годы в пунктах испытания выделялись гибриды ЗЕ 170 – 60-3, ЗЕ 170 – 61-3, ЗЕ 200 – 60-2, ЗЕ 200 – 61-2, ЗЕ 200 – 60-3 и др.

Новые раннеспелые гибриды Витязь МВ и Зерноградский 181 МВ характеризовались высоким индексом засухоустойчивости (43,6–40,9 % соответственно).

Библиографический список

1. Бельченко С. А., Дронов А. В., Ланцев В. В. Адаптивный и продуктивный потенциал среднеранних гибридов кукурузы на зерно в агроландшафтных условиях Брянской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2(54). С. 19–26. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-19-26
2. Горбачева А. Г., Орлянская Н. А., Ветошкина И. А., Чеботарев Д. С. Результаты оценки адаптивности родительских форм – линий кукурузы // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp4-10
3. Дронов А. В., Бельченко С. А., Нестеренко О. А. Сравнительная оценка зерновой продуктивности и адаптивности раннеспелых гибридов кукурузы в условиях юго-запада Нечерноземья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2(50). DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-28-35
4. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянская Н. А., Панфилова О. Н. Параметры экологической пластичности и стабильности родительских форм гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 82–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88
5. Мадьякин Е. В. Экологическое испытание новых гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических условиях // Общая биология. 2018. № 2(4). С. 743–746.
6. Новичихин А. П., Федорова А. А., Лемешев А. В. Оценка экологической пластичности и стабильности новых гибридов кукурузы // Труды Кубанского государственного университета. 2023. № 103. С. 129–134. DOI: 10.21515/1999-1703-103-129-134.
7. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарев Д. С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24(4). С. 581–591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
8. Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Панфилова А. Э., Казакова Н. И., Ветошкина И. К. Норма и стабильность реакции раннеспелых гибридов кукурузы на условия вегетации // Кормопроизводство. 2020. № 4. С. 39–43.

References

1. Bel'chenko S. A., Dronov A. V., Lantsev V. V. Adaptivnyi i produktivnyi potentsial srednerannikh gibridov kukuruzy na zerno v agrolandshaftnykh usloviyakh Bryanskoj oblasti [Adaptive and productive potential of middle early maize hybrids for grain in the agro-landscape conditions of the Bryansk region] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2021. № 2(54). S. 19–26. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-2-19-26
2. Gorbacheva A. G., Orlyanskaya N. A., Vetoshkina I. A., Chebotarev D. S. Rezul'taty otsenki adaptivnosti roditel'skikh form – linii kukuruzy [Estimation results of adaptability of the parental forms of maize lines] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2023. № 1. S. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp4-10
3. Dronov A. V., Bel'chenko S. A., Nesterenko O. A. Sravnitel'naya otsenka zernovoi produktivnosti i adaptivnosti rannespelykh gibridov kukuruzy v usloviyakh yugo-zapada Nechernozem'ya [Comparative estimation of grain productivity and adaptability of early-ripening maize hybrids in the South-West of the Non-Blackearth Region] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2020. № 2(50). DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-28-35
4. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Orlyanskaya N. A., Panfilova O. N. Parametry ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti roditel'skikh form gibridov kukuruzy [Parameters of ecological adaptability and stability of parental forms of maize hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 1. S. 82–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88
5. Madyakin, E. V. Ekologicheskoe ispytanie novykh gibridov kukuruzy v razlichnykh pochvenno klimaticheskikh usloviyakh [Ecological testing of new maize hybrids in various soil and climatic conditions] // Obshchaya biologiya. 2018. № 2(4). S. 743–746.
6. Novichikhin A. P., Fedorova A. A., Lemeshev A. V. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti novykh gibridov kukuruzy [Estimation of ecological adaptability and stability of new maize hybrids] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2023. № 103. S. 129–134. DOI: 10.21515/1999-1703-103-129-134.
7. Orlyanskaya N. A., Orlyanskii N. A., Chebotarev D. S. Sravnitel'naya indeksatsiya rannespelykh gibridov kukuruzy v ekologicheskom ispytanii [Comparative indexation of early-ripening maize hybrids in the ecological testing] // Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka. 2023. № 24(4). S. 581–591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
8. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilova A. E., Kazakova N. I., Vetoshkina I. K. Norma i stabil'nost' reaktcii rannespelykh gibridov kukuruzy na usloviya vegetatsii [Norm and stability

of the reaction of early-ripening maize hybrids to vegetation conditions] // Kormoproizvodstvo. 2020. № 4. S. 39–43.

Поступила: 11.04.25; доработана после рецензирования: 21.05.25; принята к публикации: 02.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А. С. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко Н. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП СПЕЛОСТИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А. В. Сидоров, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции пшеницы, asidorovs@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-1274-2098;

Д. Ф. Федосенко, кандидат сельскохозяйственных наук, научный работник лаборатории селекции пшеницы, day-black@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-5148-9151

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»,

660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр-т Свободный, д. 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

Цель исследований – определить изменчивость периода вегетации и урожайности яровой пшеницы и их связь с метеорологическими факторами. Исследования проведены в 2021–2024 гг. на опытных полях Красноярского НИИСХ, расположенных в лесостепной зоне. Объектом исследования служили 14 сортов и селекционных образцов яровой пшеницы. Набор состоял из 12 лучших образцов селекции Красноярского НИИСХ, включая среднепоздний стандарт Свирель, среднеранний стандарт Алтайская 70 и среднеспелый Алтайская 75. Представлены результаты варьирования продолжительности вегетационного периода и урожайности и их связь с метеорологическими факторами. Самый длительный вегетационный период – от 89 до 102 дней отмечен в 2022 г. в условиях пониженных температур в июле и августе. Самый короткий – от 74 до 81 дня – в 2024-м, наиболее теплом году. Наиболее стабильным был период «всходы – колошение» ($V = 1,8\text{--}3,8\%$). Корреляция между среднесуточной температурой и продолжительностью вегетационного периода за 14 лет (2011–2024 гг.) по сорту Алтайская 70 составила $r = -0,72 \pm 0,20$. Влияние осадков было положительным, но недостоверным – $r = 0,48 \pm 0,25$. Близкие показатели получены по определению связи урожайности с температурой и осадками – $r = -0,80 \pm 0,17$ и $r = 0,19 \pm 0,28$ соответственно. Связь продолжительности вегетационного периода с урожайностью была средней положительной – $r = 0,41 \pm 0,26$. Продуктивность возрастала от среднеранних сортов (4,04 т/га) до среднепоздних (4,47 т/га). В среднем за 4 года в среднеранней группе лучшим по продуктивности был селекционный образец К-858-2 (4,58 т/га), в среднеспелой – К-890-7 и К-943-2 (4,52 и 4,55 т/га соответственно), в среднепоздней – К-963-6 и К-960-7 (4,64 и 4,66 т/га соответственно). Прибавки к стандартам соответствующей группы спелости составили от 19 до 27 %. Выделенный по результатам исследований среднеспелый селекционный образец К-890-7 готовится к передаче в ГСИ.

Ключевые слова: яровая пшеница, вегетационный период, урожайность, температура, осадки.

Для цитирования: Сидоров А. В., Федосенко Д. Ф. Вегетационный период и урожайность яровой мягкой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Красноярского края // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-29-34.



VEGETATION PERIOD AND PRODUCTIVITY OF SPRING COMMON WHEAT OF DIFFERENT MATURITY GROUPS IN THE FOREST-STEPPE OF THE KRASNOYARSK TERRITORY

A. V. Sidorov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for wheat breeding, asidorovs@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-1274-2098;

D. F. Fedosenko, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for wheat breeding, day-black@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-5148-9151

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, separate structural unit of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (FRC KSC SB RAS),

660041, Krasnoyarsk Region, Pr. Svobodny, 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

The purpose of the current study was to determine the variability of the vegetation period and productivity of spring wheat and their correlation with weather factors. The study was conducted on the experimental forest-steppe plots of the Krasnoyarsk RIA in 2021–2024. The objects of the study were 14 spring wheat varieties and breeding samples. There have been selected 12 best samples developed in the Krasnoyarsk RIA, including the middle-late standard variety 'Svirel', the middle-early standard variety 'Altayskaya 70' and the middle-maturing variety 'Altayskaya 75'. There have been presented the results of varying the length of the vegetation period and productivity and their correlation with weather factors. The longest vegetation period from 89 to 102 days was established under low temperatures in July and August of 2022. The shortest one from 74 to 81 days was in 2024, the warmest year. The most stable one was the period 'sprouts-heading stage' ($V = 1.8\text{--}3.8\%$). The correlation between the mean daily temperature and the length of the vegetation period for 14 years (2011–2024) of the variety 'Altayskaya 70' was $r = -0.72 \pm 0.20$. The precipitation effect was positive, but insignificant with $r = 0.48 \pm 0.25$. Similar values were obtained by determining the correlation among productivity, temperature and precipitation with $r = -0.80 \pm 0.17$ and $r = 0.19 \pm 0.28$, respectively. The correlation between the length of the vegetation period and productivity was average positive with $r = 0.41 \pm 0.26$. Productivity increased from the middle-early varieties (4.04 t/ha) to middle-late ones (4.47 t/ha). On average, over 4 years, the best productivity in the middle-early group

was given by the breeding sample 'K-858-2' (4.58 t/ha), in the middle-maturing group these were the samples 'K-890-7' and 'K-943-2' (4.52 and 4.55 t/ha), in the middle-late group these were 'K-963-6' and 'K-960-7' (4.64 and 4.66 t/ha). The increases to the standards of the corresponding maturity group amounted from 19 to 27 %. The middle-maturing breeding sample 'K-890-7', selected according to the study results, is being prepared to be sent to the State Variety Testing.

Keywords: spring wheat, vegetation period, productivity, temperature, precipitation.

Введение. Vegetационный период является одним из важных признаков, который определяет продуктивность сорта и его пригодность к возделыванию в определенных почвенно-климатических условиях (Шихмуратов и Магомедов, 2024). В зависимости от конкретных условий зоны возделывания используются сорта от раннеспелых до позднеспелых. От оптимальной для конкретного региона продолжительности вегетационного периода зависит не только величина урожая, но и возможность получения высококачественного зерна (Иванисова и др., 2023).

Vegetационный период определяется генотипом сорта, и в то же время на его продолжительность влияют условия окружающей среды. На продолжительность периода «всходы – колошение» влияние генотипа выше, чем на период «колошение – восковая спелость». Продолжительность периода «колошение – восковая спелость» на 81 % определяется температурой в этот период (Новикова и др., 2023). Большинство различий в длительности вегетации растений в основном обусловлены продолжительностью межфазного периода «колошение – полная спелость» (Зезин и Постников, 2021).

Повышение температуры во все периоды вегетации сокращает продолжительность вегетационного периода, количество выпавших осадков его увеличивает. В условиях Предуральской степи повышение температуры воздуха на один градус сокращает вегетационный период на 0,4 дня. Увеличение количества осадков на 10 мм увеличивает продолжительность на такой же срок (Поскребышева и Исмагилов, 2020).

Сорта по-разному реагируют на изменение погодных условий как в течение года, так и по годам. При резких отклонениях от нормы они могут переходить из одной группы спелости в другую. Наблюдается значительная изменчивость продолжительности вегетационного периода и отдельных его фаз (Никитина и Количенко, 2024).

Большинство исследователей указывают на положительную связь продуктивности с продолжительностью вегетационного периода. В условиях Красноярского края независимо от экологического пункта выращивания пшеницы установлена тенденция роста средней урожайности пшеницы от раннеспелых образцов к среднепоздним (Полонский и др., 2022). Аналогичные результаты получены при изучении коллекции пшеницы в лесостепи Алтайского края (Валекжанин, 2019).

Разнообразие почв и агроклиматических показателей (сумма годовых осадков за год и период вегетации, безморозный период, сум-

ма активных температур, необходимая для развития растений среднегодовая температура воздуха) привело к выделению в крае восьми природных зон. Поэтому для эффективного производства необходимы сорта с различной продолжительностью вегетационного периода (Никитина и Количенко, 2022).

Цель исследований – определить изменчивость периода вегетации и урожайности яровой мягкой пшеницы и их связь с метеорологическими факторами.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2021–2024 гг. на опытных полях Красноярского НИИСХ, расположенных в лесостепной зоне. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый. Предшественником являлся чистый пар. Норма высева – 500 шт. всхожих семян на м². Учетная площадь делянки 30 м², повторность 4-кратная. Перед посевом вносили азотные удобрения в дозе N₆₀.

Объектом исследования служили 14 сортов и селекционных образцов яровой мягкой пшеницы различных групп спелости: 5 среднеранних, 5 среднеспелых и 4 среднепоздних. Набор состоял из 12 лучших образцов селекции Красноярского НИИСХ, включая среднепоздний стандарт Свирель, среднеранний стандарт Алтайская 70 и среднеспелый Алтайская 75. Исследования проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания (2019). Наименьшую существенную разность и корреляционные связи считали с помощью программ MS Excel и SNEDECOR.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы проведения исследований варьировали по годам, что в конечном итоге привело к достаточно заметному варьированию продолжительности вегетационного периода и урожайности пшеницы. Погодные условия влияют на продолжительность вегетационного периода и урожайность сильнее, чем сортовые особенности. Влияние фактора среды на продолжительность вегетационного периода составило 73,4 %, сорта – 17,0 %, взаимодействие факторов – 8,1 %. Влияние фактора среды на урожайность составило 71,4 %, сорта – 13,7 %, взаимодействие – 9,5 %.

Условия мая непосредственно мало влияли на продолжительность вегетационного периода, так как появление всходов колебалось по годам от 22 до 31 мая. Осадки мая оказывали косвенное влияние как фактор пополнения запасов влаги в почве.

Анализ ГТК показывает, что в 2021 г. в июне наблюдалось избыточное увлажнение и засушливые условия в июле (табл. 1). В 2022 г. при умеренном увлажнении в июне июль был засушливым. В 2023 г. недостаток влаги наблю-

дался в течение всего вегетационного периода. В 2024 г. при умеренном увлажнении в июне в июле отмечено избыточное увлажнение.

В августе, за исключением 2023 г., увлажнение было умеренным.

Таблица 1. Метеорологические условия в период вегетации яровой пшеницы
Table 1. Weather conditions during the vegetation period of spring wheat

Год	Месяц			
	май	июнь	июль	август
Количество осадков, мм				
2021	30,3	121,8	48,0	62,1
2022	15,2	74,8	48,5	65,0
2023	39,7	41,6	48,6	30,0
2024	45,8	79,8	240,4	81,7
Ср. многолетняя	36,6	56,7	91,1	68,4
Среднесуточная температура воздуха, оС				
2021	9,9	15,6	19,7	17,4
2022	13,9	17,0	17,7	14,9
2023	9,4	18,6	20,1	18,1
2024	11,5	18,2	21,9	18,5
Ср. многолетняя	10,1	17,8	19,2	16,7
ГТК				
2021	0,16	2,72	0,79	1,15
2022	0,39	1,41	0,88	1,37
2023	1,59	0,74	0,78	0,53
2024	0,66	1,47	3,54	1,43
Ср. многолетняя	0,56	1,11	1,52	1,31

Изменчивость вегетационного периода по сортам колебалась от слабой ($V = 5,6\%$) у селекционного образца К-874-10 до средней ($V = 11,2\%$) у сорта Курагинская 2 (табл. 2). Изменчивость продолжительности перио-

да «всходы – колошение» была более слабой ($V = 1,8-3,8\%$), периода «колошение – восковая спелость» – более сильной ($V = 7,7-21,0\%$). Менее стабильными по вегетационному периоду были сорта среднеспелой группы ($V = 9,7\%$).

Таблица 2. Продолжительность вегетационного периода у образцов яровой пшеницы различных групп спелости (2021–2024 гг.)
Table 2. Length of the vegetation period of spring wheat samples of different maturity groups (2021–2024)

Образец	Вегетационный период, дней					V, %
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	
Среднеранняя группа						
Алтайская 70, st	78	90	77	74	79,8	8,8
Уяровка	82	94	77	76	82,3	10,0
Белоярская	79	89	79	75	80,5	7,4
К-858-2	81	94	76	74	81,3	11,0
К-864-3	82	92	77	77	82,0	8,6
Среднее по группе	80,4	91,8	77,2	75,2	81,2	9,1
Среднеспелая группа						
Алтайская 75, st	87	92	81	77	84,3	7,8
Курагинская 2	86	98	79	77	85,0	11,2
Бейская	88	101	81	81	87,8	10,8
К-890-7	85	96	81	80	85,5	8,6
К-943-2	84	98	80	78	85,0	10,6
Среднее по группе	86,0	97,0	80,4	78,6	85,5	9,7
Среднепоздняя группа						
Свирель, st	92	102	84	80	89,5	10,8
К-960-7	89	102	84	80	88,8	10,8
К-963-6	92	102	83	80	89,3	11,1
К-874-10	90	92	90	81	88,2	5,6
Среднее по группе	89,5	98,8	85,2	80,2	89,0	8,9

Самый длительный вегетационный период – от 89 до 102 дней – отмечен в 2022 г. в условиях пониженных температур в июле и августе.

Самый короткий – от 74 до 81 дня – в 2024 г., наиболее теплом. Следует отметить различную реакцию сортов на условия года. Так, в наи-

более прохладном 2022 г. при значительном увеличении вегетационного периода у среднепозднего образца К-874-10 и среднеспелого сорта Алтайская 75 созревание отмечено на уровне среднеранних сортов, а у среднеспелого сорта Бейская – на уровне среднепоздних сортов.

У образца К-874-10 и сорта Алтайская 75 вегетационный период в 2022 г. увеличился всего на 2 и 5 дней соответственно по сравнению с предыдущим 2021 г., что указывает на их холодостойкость. Максимальное увеличение вегетационного периода от 13 до 14 дней произошло у образцов К-858-2, К-960-7, К-943-2.

Основное влияние на продолжительность вегетационного периода оказывает температура. При повышении температуры происходит его сокращение. Корреляция между среднесуточной температурой и продолжительностью вегетационного периода была достоверной отрицательной и составила $r = -0,72 \pm 0,20$. Самый короткий вегетационный период отмечен в самом теплом 2024 году.

Связь продолжительности вегетационного периода с осадками была неоднозначной. В 2022 г. при умеренном выпадении осадков наблюдался самый длительный вегетационный период. В 2024 г. при избыточном увлажнении отмечен самый короткий вегетационный

период. Решающее значение имела среднесуточная температура. Чтобы уменьшить влияние на показатель корреляции аномальных по погодным условиям лет, необходимо проводить расчеты за более длительный период. При определении связи продолжительности вегетационного периода с осадками за 14 лет (2011–2024 гг.) по стандарту Алтайская 70 отмечена средняя положительная корреляция ($r = 0,48 \pm 0,25$) и высокая отрицательная с температурой ($r = -0,78 \pm 0,18$).

Продолжительность вегетационного периода оказывала заметное влияние на урожайность яровой пшеницы. Уровень корреляции, рассчитанный по всему набору сортов, был средний положительный ($r = 0,41 \pm 0,26$). Самая высокая средняя урожайность зерна (5,48 т/га) была в самом продолжительном по вегетационному периоду 2022 году. Самая низкая (3,58 т/га) – в 2024 г. при наиболее коротком вегетационном периоде.

Продуктивность возрастала от среднеранних сортов до среднепоздних. Достоверные различия между среднеранней и среднеспелой группами были только в 2022 г., между среднеранней и среднепоздней – во все годы, кроме 2024-го. Между среднеспелой и среднепоздней группами достоверные различия отмечены в 2023 г. (табл. 3).

Таблица 3. Продуктивность образцов яровой пшеницы различных групп спелости (2021–2024 гг.)
Table 3. Productivity of spring wheat samples of different maturity groups (2021–2024)

Образец	Урожайность, т/га					V, %
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее	
Среднеранняя группа						
Алтайская 70, st	3,16	4,43	3,73	3,16	3,60	15,5
Уяровка	3,42	4,98	3,58	3,46	3,86	19,4
Белоярская	3,43	4,87	4,07	3,62	4,00	16,0
К-858-2	4,28	5,71	4,37	3,95	4,58	17,0
К-864-3	3,42	5,59	4,36	3,32	4,17	25,3
Среднее по группе	3,53	5,12	4,02	3,50	4,04	18,6
Среднеспелая группа						
Алтайская 75, st	3,03	5,45	3,52	3,18	3,80	25,6
Курагинская 2	2,86	5,68	3,77	3,88	4,05	25,2
Бейская	3,27	5,44	4,66	3,72	4,27	19,7
К-890-7	4,45	5,61	4,52	3,48	4,52	16,7
К-943-2	4,49	6,11	4,02	3,58	4,55	21,1
Среднее по группе	3,62	5,66	4,10	3,57	4,24	21,7
Среднепоздняя группа						
Свирель, st	3,42	5,64	4,70	3,79	4,39	22,6
К-960-7	4,04	6,09	4,88	3,61	4,66	23,5
К-963-6	3,92	5,99	4,67	3,96	4,64	20,9
К-874-10	3,88	5,12	4,42	3,35	4,19	18,1
Среднее по группе	3,82	5,71	4,67	3,68	4,47	21,3
НСР _{0,5}	0,23	0,30	0,26	0,24		

В среднем за 4 года в среднеранней группе лучшим по продуктивности был селекционный образец К-858-2 (4,58 т/га), в среднеспелой – К-890-7 и К-943-2 (4,52 и 4,55 т/га соответственно), в среднепоздней – К-963-6 и К-960-7 (4,64 и 4,66 т/га соответственно). Прибавки к стандартам соответствующей группы спелости

составили от 19 до 27 %. Селекционные образцы превзошли по продуктивности созданные ранее сорта, что говорит о положительном сдвиге в селекции на продуктивность.

Наиболее стабильным по продуктивности в среднеранней группе был сорт Алтайская 70 (V = 15,5 %), в среднеспелой – образец К-890-7

($V = 16,7\%$), в среднепоздней – образец К-874-10 ($V = 18,1\%$). Однако Алтайская 70 и К-874-10 были наименее продуктивными в своей группе спелости. Самый высокий коэффициент изменчивости в наборе образцов составил $25,6\%$ у Алтайской 75. Раннеспелые образцы имели лучшую стабильность по сравнению с более поздними ($V = 18,6\%$).

Среднесуточная температура за вегетационный период отрицательно влияла на уровень урожайности пшеницы ($r = -0,35 \pm 0,27$). Связь с осадками тоже была отрицательной, что объясняется аномальными условиями 2024 года. В течении суток 19 июля выпало 90 мм осадков. На количество зерен в колосе они повлиять не могли, а на массу 1000 зерен оказали отрицательное воздействие из-за сильного полегаания посевов.

При определении связи урожайности сорта со среднесуточной температурой за 14 лет

по стандарту Алтайская 70 корреляция составила $r = -0,80 \pm 0,17$. Связь с осадками за вегетационный период была слабой положительной ($r = 0,19 \pm 0,28$). Это объясняется значительной разницей по годам в распределении осадков в течении вегетационного периода и различной интенсивностью выпадающих осадков. Небольшие по объему осадки, выпавшие в критические периоды развития растений, позволяют сформировать достаточно высокий урожай, а разовое выпадение большого количества осадков оказывает слабое или даже отрицательное влияние.

В результате проведенных исследований получены не только теоретические, но и практические результаты. По результатам комплексной оценки выделен среднеспелый селекционный образец К-890-7. По урожайности он превосходит стандарт Алтайская 75 на $0,73$ т/га (табл. 4).

Таблица 4. Хозяйственно-биологическая характеристика образца К-890-7
Table 4. Economic and biological characteristics of the sample 'K-890-7'

Показатели	К-890-7	Алтайская 75, st	Отклонение
Вегетационный период, дней	85	83	+2
Урожайность, т/га	4,54	3,81	+0,73
Число зерен в колосе, шт.	30,3	27,6	+2,7
Масса 1000 зерен, г	35,0	35,6	-0,6
Продуктивных стеблей, шт./м ²	492	424	+68
Содержание белка, %	14,1	14,3	-0,2
Содержание клейковины, %	35,5	37,3	-1,8
Пыльная головня, % (максимум, искусственный фон)	14,4	19,1	-4,7
Бурая ржавчина, тип реакции (максимум, искусственный фон)	0	2	-2

Преимущество достигнуто за счет более высокого числа зерен в колосе и густоты продуктивного стеблестоя. Образец по качеству зерна близок к стандарту, который является сильной пшеницей. Обладает высокой устойчивостью к бурой ржавчине и меньше поражается пыльной головней. Образец К-890-7 готовится к передаче в ГСИ.

Выводы. Влияние внешней среды на продолжительность вегетационного периода составило $73,4\%$, сорта – $17,0\%$, взаимодействия факторов – $8,1\%$. Влияние среды на урожайность составило $71,4\%$, сорта – $13,7\%$, взаимодействие – $9,5\%$. Продолжительность вегетационного периода и урожайность пшеницы во многом зависят от условий увлажнения и температурного режима. Температура на данные показатели влияет сильнее, чем количество осадков (корреляционная связь среднесуточной температуры с продолжительностью вегетационного периода – $r = -0,72 \pm 0,20$, с урожайностью – $r = -0,35 \pm 0,27$). Коэффициент

изменчивости урожайности (от $15,5$ до $25,6\%$) больше, чем вегетационного периода (от $5,6$ до $11,2\%$), у среднеранних образцов меньшая изменчивость по урожайности, чем у более поздних ($V = 18,6\%$). Выявлен средний уровень зависимости урожайности от продолжительности вегетационного периода ($r = 0,41 \pm 0,26$). Средняя урожайность по группам спелости за все годы возрастает от среднеранней к среднепоздней ($4,04$ – $4,47$ т/га). По результатам проведенных исследований выделен и готовится к передаче в ГСИ среднеспелый селекционный образец К-890-7. Он выделяется высокой и стабильной урожайностью, хорошим качеством зерна и устойчивостью к грибным заболеваниям.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Красноярского НИИСХ. Регистрационный номер темы научного исследования № 121061700236-7 и № 124012900548-8.

Библиографический список

1. Валекжанин В. С. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // Вестник Алтайского ГАУ. 2019. № 1. С. 5–10.
2. Зезин Н. Н., Постников П. А. Формирование и налив зерна с урожаем яровой пшеницы в различных метеоусловиях // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 57–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-57-62
3. Иванисова А. С., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Кабанова Н. В., Кирина И. М. Урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы различных групп спелости // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 70–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-70-75

4. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый (общая часть). М.: Колос, 2019. 329 с.
5. Никитина В. И., Количенко А. А. Урожайность раннеспелых сортов яровой пшеницы в различных природных зонах Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-3-11
6. Никитина В. И., Количенко А. А. Вегетационный период сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в земледельческих зонах Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 85–94. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-1-85-94
7. Новикова Л. Ю., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Ранжирование генотипов яровой мягкой пшеницы по дате колошения и продолжительности вегетации в разных эколого-географических условиях // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. № 184(4). С. 79–89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-79-89
8. Полонский В. И., Сумина А. В., Количенко А. А. Адаптивность образцов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях Восточной Сибири // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 3(51). С. 94–100. DOI: 10.52671/20790996_2022_3_94
9. Поскребышева М. М., Исмагилов Р. Р. Темпы роста и развития яровой пшеницы в зависимости от гидротермических условий // Вестник Казанского ГАУ. 2020. Т. 15, № 1(57). С. 38–42. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-1-38-42
10. Шихмуратов А. З., Магомедов М. М. Сравнительная характеристика новейших образцов пшеницы твердой по комплексу агробиологических признаков // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 2. С. 4–7. DOI: 10.31857/S2500208224020016

References

1. Valekzhanin V. S. Iskhodnyi material dlya seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Priobskoi lesostepi Altaiskogo kraia [Initial material for spring common wheat breeding in the Ob forest-steppe of the Altai Territory] // Vestnik Altaiskogo GAU. 2019. № 1. S. 5–10.
2. Zezin N. N., Postnikov P. A. Formirovanie i naliv zerna s urozhaem yarovoi pshenitsy v razlichnykh meteousloviyakh [Formation and grain filling with spring wheat harvest in various weather conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1(73). S. 57–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-57-62
3. Ivanisova A. S., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Kabanova N. V., Kirina I. M. Urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi tverdoi pshenitsy razlichnykh grupp spelosti [Productivity and grain quality of winter durum wheat of various maturity groups] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. Т. 15, № 1. S. 70–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-70-75
4. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Vypusk pervyi (obshchaya chast'). M.: Kolos, 2019. 329 s.
5. Nikitina V. I., Kolichenko A. A. Urozhainost' rannespelykh sortov yarovoi pshenitsy v razlichnykh prirodnykh zonakh Krasnoyarskogo kraia [Productivity of early-maturing spring wheat varieties in various natural areas of the Krasnoyarsk Territory] // Vestnik KrasGAU. 2022. № 4. S. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-3-11
6. Nikitina V. I., Kolichenko A. A. Vegetatsionnyi period sortov yarovoi myagkoi pshenitsy raznykh grupp spelosti v zemledel'cheskikh zonakh Krasnoyarskogo kraia [Vegetation period of spring common wheat varieties of different maturity groups in agricultural zones of the Krasnoyarsk Territory] // Vestnik KrasGAU. 2024. № 1. S. 85–94. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-1-85-94
7. Novikova L. Yu., Zuev E. V., Brykova A. N. Ranzhirovanie genotipov yarovoi myagkoi pshenitsy po date kolosheniya i prodolzhitel'nosti vegetatsii v raznykh ekologo-geograficheskikh usloviyakh [Ranking of spring common wheat genotypes according to the heading time and length of vegetation period in different ecological and geographical conditions] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2023. № 184(4). S. 79–89. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-79-89
8. Polonskii V. I., Sumina A. V., Kolichenko A. A. Adaptivnost' obraztsov yarovoi pshenitsy razlichnykh grupp spelosti v usloviyakh Vostochnoi Sibiri [Adaptability of spring wheat samples of different maturity groups in the Eastern Siberia] // Problemy razvitiya APK regiona. 2022. № 3(51). S. 94–100. DOI: 10.52671/20790996_2022_3_94
9. Poskrebysheva M. M., Ismagilov R. R. Tempy rosta i razvitiya yarovoi pshenitsy v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovii [Growth and development rates of spring wheat depending on hydrothermal conditions] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2020. Т. 15, № 1(57). S. 38–42. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-1-38-42
10. Shikhmuradov A. Z., Magomedov M. M. Sravnitel'naya kharakteristika noveishikh obraztsov pshenitsy tverdoi po kompleksu agrobiologicheskikh priznakov [Comparative characteristics of the latest durum wheat samples according to a complex of agrobiological characteristics] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2024. № 2. S. 4–7. DOI: 10.31857/S2500208224020016

Поступила: 03.04.25; доработана после рецензирования: 07.05.25; принята к публикации: 07.05.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Сидоров А. В. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Федосенко Д. Ф. – закладка полевых опытов, математическая обработка данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ЭСПАРЦЕТА

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической и технологической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

А. А. Регидин, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;

Н. Г. Игнатьева, техник-исследователь, лаборатории биохимической и технологической оценки, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Представлены результаты испытания образцов эспарцета селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в условиях южной зоны Ростовской области. Цель исследований заключалась в оценке биохимического состава сортов и линий эспарцета песчаного, в выделении перспективного исходного материала для селекции на стабильно высокие показатели качества зеленой массы. Исследования были проведены в 2019–2023 годах. Фенологические наблюдения и лабораторные исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками и ГОСТами. Объектом исследований были пять сортов эспарцета, включенных в Госреестр и допущенных к использованию, и четыре перспективных линии. Изучение химического состава позволило установить, что в среднем за годы исследований самое высокое содержание сухого вещества отмечено у сорта Шурави (21,25 %) и линии Син 15/93 (20,92 %). По содержанию сырого протеина выделились сорта Атаманский 20 (19,87 %), Велес (18,70 %), Сударь (18,04 %), Шурави (18,79 %) и линии Син 9/97 (17,41 %), Син 15/93 (17,95 %). У сорта Шурави (2,53 %) и линий Син 15/93 (2,45 %), Син 1/2000 (2,39 %) установлено максимальное содержание жира в зеленой массе. Сорт Шурави (9,45 %) превысил стандарт по количеству сырой золы. Максимальным количеством БЭВ характеризовались сорт Сударь (42,36 %) и линия Син 15/93 (42,23 %). Сорта Атаманский 20 (9,83 МДж/кг), Велес (9,76 МДж/кг), Сударь (9,93 МДж/кг) и линия Син 15/93 (9,99 МДж/кг) характеризовались высокими значениями обменной энергии, что позволяет рекомендовать эти генотипы для использования в селекционном процессе в качестве источников полезных признаков и свойств, в производственном процессе – в качестве предшественника и для приготовления кормов с высокой питательной и энергетической ценностью.

Ключевые слова: эспарцет, зеленая масса, сырой протеин, сырой жир, сырая клетчатка, валовая энергия, обменная энергия.

Для цитирования: Кравченко Н. С., Регидин А. А., Игнатьева Н. Г. Сравнительная оценка химического состава и питательной ценности сортов и линий эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 35–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-35-40.



COMPARATIVE ESTIMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND NUTRITIONAL VALUE OF SAINFOIN VARIETIES AND LINES

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

A. A. Regidin, researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;

N. G. Ignatieva, technician-researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

There have been presented the testing results of sainfoin samples developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” in the southern part of the Rostov Region. The purpose of the current study was to estimate the biochemical composition of sand sainfoin varieties and lines, to identify promising initial breeding material for consistently high indicators of green mass quality. The study was conducted in 2019–2023. Phenological observations and laboratory tests were carried out in accordance with generally accepted methods and GOSTs. The objects of the studies were 5 sainfoin varieties included in the register and approved for use and 4 promising lines. The study of the chemical composition made it possible to establish that, on average, over the years of study, the largest dry matter content was established in the variety ‘Shuravi’ (21.25 %) and the line ‘Sin 15/93’ (20.92 %). The varieties ‘Atamansky 20’ (19.87 %), ‘Veles’ (18.70 %), ‘Sudar’ (18.04 %), ‘Shuravi’ (18.79 %) and the lines ‘Sin 9/97’ (17.41 %), ‘Sin 15/93’ (17.95 %) were the best in terms of crude protein percentage. The variety ‘Shuravi’ (2.53 %) and the lines ‘Sin 15/93’ (2.45 %), ‘Sin 1/2000’ (2.39 %) had the maximum oil content in green mass. The variety ‘Shuravi’ (9.45%) exceeded the standard one in terms of crude ash content. The variety ‘Sudar’ (42.36 %) and the line ‘Sin 15/93’ (42.23%) were characterized by the maximum amount of NfES. The varieties ‘Atamansky 20’ (9.83 MJ/kg), ‘Veles’ (9.76 MJ/kg), ‘Sudar’ (9.93 MJ/kg) and the line ‘Sin 15/93’ (9.99 MJ/kg) are characterized by high values of exchange energy, which allows recommending these genotypes for use in the breeding process as sources of useful traits and properties and in the production process as a forecrop, for preparation of feed with high nutritional and energy value.

Keywords: sainfoin, green mass, crude protein, crude oil, crude fiber, gross energy, metabolizable energy.

Введение. Расширение ассортимента многолетних трав является наиболее действенным и экономически выгодным направлением как в целом в растениеводстве, так и, в частности, в кормопроизводстве. Одной из перспективных культур для южных регионов России является эспарцет песчаный, возделывание которого позволит улучшить водно-физические свойства почв (Приходько и Черкашина, 2021), а также получать полноценный по питательности корм, в котором удачно сбалансированы углеводы и белки.

Эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria* (Kit.)) – многолетнее травянистое растение, вид рода эспарцет (*Onobrychis* Mill) семейства бобовых (*Fabaceae*) с коротким периодом вегетации, которое используется в сельском хозяйстве как кормовая бобовая культура и важный биологический источник азота (Волошин, 2015).

Применение в севообороте эспарцета может повысить плодородие почвы за счет фиксации азота, кроме того, эта культура легко адаптируется к условиям внешней среды, обладает высокой продуктивностью, энергетической и протеиновой питательностью. Эспарцет также является прекрасным цветочным ресурсом для медоносных пчел (Игнатъев и Регидин, 2020; Волошин и др., 2021).

Селекционный процесс при создании новых сортов эспарцета имеет несколько направлений, но основными остаются урожайность зеленой массы и качество корма (Регидин и Игнатъев, 2020). Реализация потенциала зеленой массы культуры значительно различается в зависимости от используемых сортов (Кожухова и др., 2023).

В перспективе основным направлением развития кормопроизводства будет максимальное использование биологических и техногенных факторов повышения продуктивности пашни, а также энергетической и протеиновой полноценности кормов на основе расширения площадей под многолетними бобовыми культурами и их смесей со злаковыми травами (Косолапов и др., 2021).

Исходя из вышеизложенного, изучение перспективного селекционного материала эспарцета и подбор сортов для производства, приспособленных к условиям Ростовской области, актуальны и перспективны.

Цель исследований – оценить биохимический состав сортов и линий эспарцета песчаного, выделить перспективный исходный материал для селекции на стабильно высокие показатели качества зеленой массы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2019–2023 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области. Объектами изучения были 4 сорта эспарцета, внесенных в Госреестр и допущенных к использованию в разных регионах России, и четыре перспективных линии. Площадь делянки в опыте 20 м², повторность четырехкратная, норма высе-

ва – 500 шт. всхожих семян на 1 м². Стандарт – Зерноградский 2. Закладку опыта, фенологические наблюдения и биометрические учеты выполняли по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019) и Рекомендациям по организации полноценного кормления высокопродуктивных коров (2008). Учет урожая зеленой массы проводили вручную в фазу начала цветения растений с делянки площадью 2 м². Сухое вещество определяли по ГОСТ-31640-2012. Уборку семян осуществляли комбайном Wintersteiger прямым комбайнированием после обработки посевов десикантом Реглон Супер в дозе 3 л/га при расходе 250–300 л/га раствора и побурении 90–95 % бобов. Расчет биоэнергетической эффективности – в соответствии с «Технологическими требованиями производства объемистых кормов в Ростовской области» (2012). Оценку качества зеленой массы осуществляли по основным критериям, среди которых: количество сырого протеина, содержание сырых питательных веществ – жира, золы и клетчатки. Математическую обработку данных проводили по Б. А. Доспехову (2014).

За период изучения погодные условия для возделывания эспарцета складывались удовлетворительно. В условиях 2019 г. количество осадков в весеннее время было выше среднемноголетних показателей на 8,8 % при благоприятных среднемесячных температурах, однако в летний период количество осадков составило лишь 55 % от среднемноголетних норм на фоне резкого повышения температур воздуха. В весенний период 2020 г. остро ощущался недостаток влаги, что сказалось на высоком содержании клетчатки. Потребность эспарцета во влаге немного снизили выпавшие в мае осадки (79,9 мм), но в дальнейшем снова количество осадков составило 83 % от среднемноголетних за оставшийся период вегетации. При этом среднесуточные температуры за весь период вегетации были выше среднемноголетних на 0,5–2,4 °С. Для осени и начала зимы также был характерен недостаток влаги. Но за весенние месяцы 2021 г. превышение по количеству осадков составило 60 % над среднемноголетними нормами. За весеннее время 2022 г. количество осадков составляло 94 % от среднемноголетней нормы, тепловой режим был близок к среднемноголетнему. В летний период количество осадков составило только 70 % от среднемноголетнего количества, среднемесячная температура воздуха превышала среднемноголетние значения. В начале весеннего периода 2023 г. количество осадков было близким к среднемноголетним значениям, а в апреле и мае тепловой режим был выше среднемноголетнего.

Результаты и их обсуждение. Содержание сухого вещества в зеленой массе изучаемых сортов и линий в фазу «начало цветения» изменялось от 18,48 % (Син 16/93) до 21,25 % (Шурави) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сортов и линий эспарцета по содержанию сырого протеина и сухого вещества (2021–2023 гг.)
Table 1. Characteristics of sainfoin varieties and lines according to crude protein and dry matter (2021–2023)

Сорт / линия	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Содержание сырого протеина в СВ, г/кг
Зерноградский 2, st	20,03	16,17	161
Атаманский 20	20,48	19,87	198
Велес	20,36	18,70	187
Сударь	19,42	18,04	180
Шурави	21,25	18,79	187
Син 16/93	18,48	16,22	162
Син 9/97	19,14	17,41	174
Син 15/93	20,92	17,95	179
Син 1/2000	20,16	16,12	161
НСР ₀₅	0,88	0,72	–

Самая высокая урожайность сухого вещества отмечена у сорта Шурави (21,25 %) и линии Син 15/93 (20,92 %), превышение над стандартом составило 6,1 и 4,4 % соответственно.

При оценке качества кормов преимущественно используют показатель содержания сырого протеина, который характеризует суммарный состав азотистых веществ. Результаты анализа химического состава свидетельствуют о том, что изучаемые сорта и линии содержат высокое количество сырого протеина – от 16,17 % (Зерноградский 2) до 19,87 % (Атаманский 20). В среднем за годы исследований по содержанию сырого протеина выявлено превышение над стандартом Зерноградский 2 у сортов Атаманский 20 (19,87 %), Велес (18,70 %), Сударь (18,04 %), Шурави (18,79 %) и линий Син 9/97 (17,41 %) и Син 15/93 (17,95 %). В соответствии с требованиями ГОСТ Р 55452-2021 изучаемые сорта и линии по содержанию сырого протеина соответствуют сену 1-го класса (не менее 150 г/кг СВ).

Выделившиеся генотипы могут быть использованы для приготовления объемистых кормов в качестве источников протеина и энергии.

Кроме сырого протеина, немаловажное значение в кормлении животных имеет количество питательных веществ, таких как жир, зола, клетчатка. К концентрации сырого жира в сухом веществе требования не предъявляются, однако их величина учитывается при установлении БЭВ.

Количество жира важно для животных, он входит в состав протоплазмы всех клеток и необходим для нормальной работы пищеварительных желез, а также играет роль основного запасного вещества. Жир является главным аккумулятором энергии в организме и служит важным источником тепла (Макаренков и др., 2021). Концентрация сырого жира у сортов и линий эспарцета в конкурсном сортоиспытании варьировала от 2,02 % (Атаманский 20) до 2,53 % (Шурави) (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика сортов и линий эспарцета по содержанию сырых питательных веществ (2021–2023 гг.)
Table 2. Characteristics of sainfoin varieties and lines according to crude nutrient (2021–2023)

Сорт / линия	Сырой жир, %	Сырая зола, %	Сырая клетчатка, %
Зерноградский 2, st	2,18	7,77	32,74
Атаманский 20	2,02	7,98	31,68
Велес	2,25	8,05	31,45
Сударь	2,11	6,68	30,80
Шурави	2,53	9,45	31,49
Син 16/93	2,27	7,60	32,73
Син 9/97	2,21	7,54	33,67
Син 15/93	2,45	6,94	30,43
Син 1/2000	2,39	7,48	32,82
НСР ₀₅	0,16	0,29	1,06

У сорта Шурави (2,53 %) и линий Син 15/93 (2,45 %), Син 1/2000 (2,39 %) установлено максимальное содержание жира в зеленой массе. Эти генотипы показали превышение над стандартом Зерноградский 2 (2,18 %) на 0,35, 0,27 и 0,21 % соответственно (НСР₀₅ = 0,16 %). Остальные сорта и линии характеризовались

содержанием сырого жира на уровне стандарта.

Величина содержания минеральных веществ характеризуется количеством сырой золы. Эти вещества не обладают энергетической и углеводной питательной ценностью, но их значение в питании сельскохозяйствен-

ных животных чрезвычайно велико. Они участвуют во всех процессах обмена веществ, происходящих в организме (Косолапов и др., 2019).

Содержание сырой золы у изучаемых сортов и линий эспарцета зафиксировано от 6,68 % (Сударь) до 9,45 % (Шурави). Достоверное превышение над стандартом Зерноградский 2 (7,77 %) установлено только у сорта Шурави (9,45 %). У сортов Атаманский 20 (7,98 %), Велес (8,05 %), линий Син 16/93 (7,60 %), Син 9/97 (7,54 %) и Син 1/2000 (7,48 %) содержание сырой золы было на уровне стандарта ($НСП_{05} = 0,29$ %).

Концентрация сырой клетчатки у изучаемых образцов эспарцета за годы исследований была достаточно высокой и варьировала от 30,43 % (Син 15/93) до 33,67 % (Син 9/97). Известно, что с возрастом растений содержание клетчатки возрастает, а наличие протеина снижается (Лебедева и др., 2022; Лазарев и др.,

2023). В соответствии с ГОСТ Р 55452-2021 содержание клетчатки у всех изучаемых генотипов превышает необходимые нормативы. В связи с этим фактом рекомендуем для снижения величины данного признака и повышения качества зеленой массы укос проводить в фазу «начало бутонизации». Так как при высокой концентрации клетчатки снижается питательная и энергетическая ценность корма, то интерес для селекционной работы представляют с минимальными значениями этого признака ниже стандарта ($НСП_{05} = 1,06$ %) сорта Сударь (30,80 %), Атаманский 20 (31,68 %), Велес (31,45 %), Шурави (31,49 %) и линия Син 15/93 (30,43 %).

Величина БЭВ изучаемых сортов и линий эспарцета зависела от содержания клетчатки, жира и золы в зеленой массе и варьировала от 37,73 % (Шурави) до 42,36 % (Сударь) (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика сортов и линий эспарцета по содержанию БЭВ, валовой и обменной энергии (2021–2023 гг.)
Table 3. Characteristics of sainfoin varieties and lines according to NfES, gross and exchange energy (2021–2023)

Сорт / линия	БЭВ, %	ВЭ, МДж/кг	ОЭ, МДж/кг
Зерноградский 2, st	41,14	18,48	9,53
Атаманский 20	39,38	18,80	9,83
Велес	39,56	18,58	9,76
Сударь	42,36	18,73	9,93
Шурави	37,73	18,40	9,66
Син 16/93	41,18	18,53	9,55
Син 9/97	39,18	18,63	9,47
Син 15/93	42,23	18,74	9,99
Син 1/2000	41,18	18,57	9,56
$НСП_{05}$	0,91	0,13	0,19

Сорт Сударь (42,36 %) и линия Син 15/93 (42,23 %) характеризовались максимальной концентрацией БЭВ с превышением стандарта ($НСП_{05} = 0,91$ %).

Одним из важнейших приоритетов полноценного и сбалансированного кормления является обеспечение животных достаточным количеством энергии, что способствует лучшему усвоению питательных веществ, использованию их для синтеза и снижения себестоимости продукции (Лазарев и др., 2023).

Валовая энергия (ВЭ) – это суммарная энергия всех органических веществ корма. Величина ВЭ варьировала от 18,40 МДж/кг (Шурави) до 18,80 МДж/кг (Атаманский 20). Были выделены сорта Атаманский 20 (18,80 МДж/кг), Сударь (18,73 МДж/кг) и линии Син 9/97 (18,63 МДж/кг), Син 15/93 (18,74 МДж/кг) с максимальной концентрацией энергии выше стандарта ($НСП_{05} = 0,13$).

Обменная энергия (ОЭ) – часть валовой энергии корма, необходимая для обеспечения определенного уровня жизнедеятельности, биосинтеза и отложения в веществах продукции и т.д.

Наибольшей энергетической ценностью выше стандарта ($НСП_{05} = 0,19$ МДж/кг) в сред-

нем за годы исследований характеризовались сорта Атаманский 20 (9,83 МДж/кг), Велес (9,76 МДж/кг), Сударь (9,93 МДж/кг) и линия Син 15/93 (9,99 МДж/кг). Согласно требованиям ГОСТ Р 55452-2021 (к сеяным бобовым травам) все изучаемые образцы по содержанию обменной энергии (не менее 9,2 МДж/кг) соответствовали 1-му классу качества, что отвечает высоким зоотехническим требованиям.

Выделившиеся образцы показали высокие значения большинства характеристик эспарцета и могут быть рекомендованы в качестве перспективного селекционного материала для использования в программах скрещивания при создании новых сортов с высокой урожайностью и качеством зеленой массы.

Выводы. Проведенная сравнительная характеристика и оценка энергетической питательности по химическому составу сортов и линий эспарцета показывают, что изучаемые генотипы обладают высокими энергетическими ресурсами и пригодны для внедрения в сельскохозяйственное производство для увеличения производства высококачественных кормов.

В качестве источников высоких кормовых достоинств рекомендуем использовать в се-

лекционном процессе сорта Атаманский 20, Велес, Сударь, Шурави и линии Син 9/97, Син 15/93, которые сформировали зеленую массу с высоким содержанием сырых питательных веществ и обменной энергии.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0505-2025-0008 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Волошин В. А. Предварительные итоги изучения эспарцета песчаного в Пермском крае // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 1(242). С. 49–55.
2. Волошин В. А., Майсак Г. П., Терентьева Л. С. Эспарцет песчаный и его агроэкологическая роль в земледелии // Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 21–25. DOI: 10.25685/krm.2021.58.70.001
3. Игнатъев С. А., Регидин А. А. Оценка продуктивности и качества корма сортов эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 12–15. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-12-15
4. Кожухова Е. В., Мудрова В. Е., Данилова В. В. Урожайность и кормовое достоинство зеленой массы гороха // Научное обеспечение животноводства Сибири: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Красноярск, 2023. С. 12–16. DOI: 10.52686/9785605087816_12
5. Косолапов В. М., Чуйков В. А., Худякова Х. К., Косолапова В. Г. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа. М.: ООО «Угрешская типография», 2019. 272 с.
6. Косолапов В. М., Шарифьянов Б. Г., Ишмуратов Х. Г., Шагалиев Ф. М., Юмагузин И. Ф., Салихов Э. Ф. Объемистые корма из бобово-злаковых травосмесей в рационах кормления крупного рогатого скота. М.: ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2021. 184 с. DOI: 10.33814/monography_2021_1840-29
7. Лазарев Н. Н., Шитикова А. В., Куренкова Е. М., Кухаренкова О. В., Дикарева С. А., Климов А. А., Шевелева С. Н. Эспарцет (*ONOBRYCHIS ADANS.*): выгодная культура в органическом лугопастбищном хозяйстве (обзор) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 76–94. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-2-76-94
8. Лебедева Н. С., Чумакова В. В., Сухарев С. А. Результаты селекции эспарцета в Ставропольском крае // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 5. С. 5–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-5-9
9. Макаренков М. А., Козлов Н. Н., Комкова Т. Н., Коровина В. Л. Сравнительная оценка коллекционных образцов многолетних бобовых кормовых растений // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. М., 2021. С. 35–43. DOI: 10.33814/МАК-2021-26-74-35-43
10. Приходько А. В., Черкашина А. В. Продуктивность сидеральных культур в различных гидротермических условиях // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154
11. Регидин А. А., Игнатъев С. А. Результаты создания перспективных сортов эспарцета для различных условий юга России // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 23–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-23-269

References

1. Voloshin V. A. Predvaritel'nye itogi izucheniya espartseta peschanogo v Permskom krae [Preliminary results of the study of sandy sainfoin in the Perm Territory] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2015. № 1(242). S. 49–55.
2. Voloshin V. A., Maisak G. P., Terent'eva L. S. Espartset peschanyi i ego agroekologicheskaya rol' v zemledelii [Sandy sainfoin and its agroecological role in agriculture] // Kormoproizvodstvo. 2021. № 5. S. 21–25. DOI: 10.25685/krm.2021.58.70.001
3. Ignat'ev S. A., Regidin A. A. Otsenka produktivnosti i kachestva korma sortov espartseta [Estimation of the productivity and quality of feed from sainfoin varieties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 3(69). S. 12–15. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-12-15
4. Kozhukhova E. V., Mudrova V. E., Danilova V. V. Urozhainost' i kormovoe dostoinstvo zelenoi massy gorokha [Productivity and feed value of green mass of peas] // Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Krasnoyarsk, 2023. S. 12–16. DOI: 10.52686/9785605087816_12
5. Kosolapov V. M., Chuiikov V. A., Khudyakova Kh. K., Kosolapova V. G. Mineral'nye elementy v kormakh i metody ikh analiza [Mineral elements in feed and methods of their analysis]. M.: ООО «Ugreshskaya tipografiya», 2019. 272 s.
6. Kosolapov V. M., Sharifyanov B. G., Ishmuratov Kh. G., Shagaliev F. M., Yumaguzin I. F., Salikhov E. F. Ob'emistye korma iz bobovo-zlakovykh travosmesei v ratsionakh kormleniya krupnogo rogatogo skota [Bulk feed from legume-cereal grass mixtures in cattle feeding rations]. M.: FGBOU DPO RAKO APK, 2021. 184 s. DOI: 10.33814/monography_2021_1840-29
7. Lazarev N. N., Shitikova A. V., Kurenkova E. M., Kukharenkova O. V., Dikareva S. A., Klimov A. A., Sheveleva S. N. Espartset (*ONOBRYCHIS ADANS.*): vygodnaya kul'tura v organicheskom lugopastbishchnom khozyaistve (obzor) [Sainfoin (*ONOBRYCHIS ADANS.*): a profitable crop in organic grassland farming (a review)] // Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2023. № 2. S. 76–94. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-2-76-94
8. Lebedeva N. S., Chumakova V. V., Sukharev S. A. Rezul'taty seleksii espartseta v Stavropol'skom krae [Sainfoin breeding results in the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 5. S. 5–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-5-9
9. Makarenkov M. A., Kozlov N. N., Komkova T. N., Korovina V. L. Sravnitel'naya otsenka kollektsionnykh obraztsov mnogoletnikh bobovykh kormovykh rastenii [Comparative estimation of collection samples of perennial legume forage plants] // Mnogofunktsional'noe adaptivnoe kormoproizvodstvo. M., 2021. S. 35–43. DOI: 10.33814/МАК-2021-26-74-35-43

10. Prikhod'ko A. V., Cherkashina A. V. Produktivnost' sideral'nykh kul'tur v razlichnykh gidrotermicheskikh usloviyakh [Productivity of green manure crops in various hydrothermal conditions] // Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 3(27). S. 144–154. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-144-154

11. Regidin A. A., Ignat'ev S. A. Rezul'taty sozdaniya perspektivnykh sortov espartseta dlya razlichnykh uslovii yuga Rossii [Results of developing promising sainfoin varieties for various conditions of the south of Russia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 23–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-23-269

Поступила: 11.06.25; доработана после рецензирования: 17.07.25; принята к публикации: 17.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кравченко Н. С. – концептуализация исследования, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Регидин А. А., Игнат'ева Н. Г. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.112.9:631.15

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-41-46

**ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОТЕХНИКИ
ТРИТИКАЛЕ СОРТА ФОРТЕ
ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ПРОГРАММИРУЕМОЙ УРОЖАЙНОСТИ**

Н. С. Шпилев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, shpilev.ns@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2269-5013;

Л. В. Лебедько, старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента, liudmila.lebedko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1027-4457;

К. И. Горбачев, аспирант кафедры агрономии, селекции и семеноводства, zag8000@mail.ru
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ,
243365, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а.

Важным критерием эффективного процесса в области выращивания сельскохозяйственной продукции является абсолютное воспроизводство сорта, полученное результатами изысканий и исследований ученых и производителей в данном вопросе, и обеспечение полной реализации его генетического потенциала за счет интенсивных технологий его возделывания. Получение максимальной урожайности основных сельскохозяйственных культур возможно при условии учета биологических особенностей сорта, которые и определяют использование наиболее приемлемых технологических приемов, только в этом случае возможна реализация генетического потенциала сорта. Цель данной работы – выявить наиболее эффективные агротехнические приемы, которые обеспечат высокую урожайность и экономическую эффективность возделывания нового, интенсивного озимого сорта культуры тритикале – Форте. В статье рассчитаны нормы минеральных удобрений, обеспечивающих запланированную урожайность: 5,0; 7,0 и 10,0 т/га при норме высева 3,0; 4,0; 5,0 млн всхожих семян на один гектар, учитывая климатические условия региона и их использование при разных технологиях возделывания. Все варианты показали высокую рентабельность производства изучаемого сорта за период исследования. Таким образом, разработанная технология позволяет получить запланированную урожайность с высоким уровнем рентабельности продукции, которая в зависимости от технологии возделывания и погодных условий составила в 2022 г. при планируемой урожайности 5,0 т/га и норме высева 3,0 млн всхожих семян на один гектар 44,02 % при норме высева 4,0 млн/га – 44,93 %. В условиях вегетации 2023 г. рентабельность составила соответственно 26,02 и 26,35 %. При планируемой урожайности 7,0 т/га в 2022 г. рентабельность незначительно варьировала – 51,01; 51,99 и 49,01 %. Запланированная урожайность 10,0 т/га позволила в 2022 г. получить рентабельность в размере 51,01; 51,99; 49,01 %, а в 2023 г. – 35,02; 35,48 и 32,10 %.

Ключевые слова: тритикале, сорт, интенсивная технология, норма высева, система удобрений, урожайность, валовая прибыль, рентабельность продукции.

Для цитирования: Шпилев Н. С., Лебедько Л. В., Горбачев К. И. Оптимизация агротехники тритикале сорта Форте для достижения программируемой урожайности // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 41–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-41-46.

**OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
OF THE TRITICALE VARIETY 'FORTE'
TO ACHIEVE PLANNED PRODUCTIVITY**

N. S. Shpilev, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, shpilev.ns@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2269-5013;

L. V. Lebedko, senior lecturer of economics and management department, liudmila.lebedko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1027-4457;

K. I. Gorbachev, postgraduate of the department of agronomy, breeding and seed production, zag8000@mail.ru
FSBEI HE Bryansk SAU,
243365, Bryansk region, Vygonichesky district, v. of Kokino, Sovetskaya Str., 2A

An important criterion for an effective process in growing agricultural products is the absolute reproduction of the variety, developed as a result of studies by scientists and producers and ensuring the complete implementation of its genetic potential through intensive technologies of its cultivation. Obtaining maximum productivity of the main agricultural crops is possible provided that the biological characteristics of the variety are taken into account, which determine the use of the most acceptable technological methods; only in this case is it possible to implement the genetic potential of the variety. The purpose of the current work was to identify the most effective agricultural methods that will ensure large productivity and economic efficiency in the cultivation of a new, intensive winter triticale variety 'Forte'. There have been calculated the rates of mineral fertilizers that provide the planned productivity, namely 5.0; 7.0 and 10.0 t/ha at the seeding rate of 3.0; 4.0; 5.0 million germ. seeds per hectare, taking into account the weather conditions of the region and their use in different cultivation technologies. All options have shown high profitability of production of the studied variety during the period. Thus, the developed technology allows obtaining the planned productivity with a high level of product profitability, which, depending on the cultivation technology and weather

conditions of 2022, was 44.02 % with a planned productivity of 5.0 t/ha and a seeding rate of 3.0 million germ. seeds per hectare, and 44.93 % with a seeding rate of 4.0 million germ. seeds per ha. In the vegetation period of 2023, the profitability was 26.02 and 26.35 %, respectively. With a planned productivity of 7.0 t/ha in 2022, the profitability varied slightly with 51.01, 51.99 and 49.01 %. The planned productivity of 10.0 t/ha allowed obtaining profitability of 51.01, 51.99, 49.01 % in 2022, and 35.02, 35.48 and 32.10 % in 2023.

Keywords: *triticale, variety, intensive technology, seeding rate, fertilizer system, productivity, gross profit, product profitability.*

Введение. Потенциал урожайности сортов тритикале самый большой среди зерновых культур, однако реализация его в производственных условиях не отличается высокой стабильностью. Рассматривая потенциал интенсивных сортов озимой тритикале, исследователи отмечали их уникальные характеристики (Гончаров, 2020; Тедеева и Тедеева, 2021; Левакова и Жаркова, 2023; Воронов и Зеленев, 2024).

Сдерживает урожайность тритикале, по нашему мнению, использование недостаточно эффективной схемы первичного семеноводства и интенсивной технологии их возделывания. Эффективность возделывания сортов озимой тритикале по интенсивным технологиям достигается за счет увеличения точности отбираемых генотипов, сокращения сроков изучения качества получаемых семян и увеличения коэффициента размножения. Полученные семена, соответствующие сорту, позволяют в большей степени реализовать его генетический потенциал путем использования важнейших агроприемов: системы удобрений при технологии возделывания сортов озимой тритикале с учетом разной степени насыщенности основными элементами питания (NPK) и нормы высева сортов озимой и яровой тритикале (Полухин и др., 2023; Шпилев и др., 2023).

С одной стороны, тритикале обладает огромной потенциальной урожайностью, с другой стороны, мы констатируем невысокую урожайность этой культуры в производстве. По данным Федеральной службы государственной статистики в среднем по Российской Федерации урожайность озимой тритикале составила 2,99 т/га. По нашему мнению, отсутствие технологических приемов, учитывающих генетические особенности сорта, при возделывании тритикале объясняется сложившейся ситуацией в производственных условиях. Разработка сортовых технологий,

которые определяются генотипом сорта и учитывают конкретные производственные условия, позволит в значительной степени реализовать потенциал урожайности интенсивных сортов тритикале, что представляется чрезвычайно актуальным направлением повышения урожайности и эффективности возделывания тритикале.

Целью этой работы было выявление наиболее эффективных агротехнических приемов, которые обеспечат высокую урожайность и экономическую эффективность возделывания нового, интенсивного озимого сорта культуры тритикале – Форте.

Материалы и методы исследований.

В качестве объекта исследования использовали культуру озимой тритикале сорта Форте, допущенного к производственному применению в шести регионах, включая Центральный регион, в 2022 году. Сорт относится к интенсивному типу зернового использования. Географические координаты проведения исследования – 52°29'47¹¹ северной широты, 34°46'50¹¹ восточной долготы. Почва опытного участка серая лесная среднесуглинистая, гумус (по Тюрину) – 3,5%, содержание легкогидролизуемого азота – 13,2 мг/кг, подвижного фосфора P₂O₅ (по Кирсанову) – 36,1 мг/кг и калия K₂O (по Кирсанову) – 28,7 мг/кг. В качестве предшественника использовали горохо-овсяную смесь на зерно. Программируемая урожайность составляла 5,0; 7,0; 10,0 т/га при норме высева 3,0; 4,0; 5,0 млн всхожих семян на 1 га. Расчет доз удобрений проведен балансовым методом, которые составили: при планируемой урожайности 10,0 т/га – N₂₀₃P₇₁K₁₃₀ кг действующего вещества; 7,0 т/га – N₁₀₅P₃₇K₇₀ кг действующего вещества; 5,0 т/га – N₄₀P₁₄K₃₀ кг действующего вещества. В таблице 1 представлены дозы, формы и сроки внесения минеральных удобрений.

Таблица 1. Формы, нормы и способы внесения минеральных удобрений
Table 1. Forms, rates and methods of mineral fertilizing

Уровень программируемой урожайности зерна, т/га	Расчетные нормы NPK, кг д.в./га	Система удобрения
5,0	N ₄₀ P ₁₄ K ₃₀	– предпосевное внесение N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ – азофоска (16:16:16) в норме 1,88 ц/га (фосфор в запас P ₁₆); – подкормка весной (фаза кущения) – N ₁₀ аммиачная селитра 0,29 ц/га
7,0	N ₁₀₅ P ₃₇ K ₇₀	– предпосевное внесение N ₇₀ P ₇₀ K ₇₀ – азофоска (марка 16:16:16) в норме 5,0 ц/га (фосфор в запас P ₃₃); – подкормка весной (фаза кущения) – N35 аммиачная селитра в норме 1,0 ц/га
10,0	N ₂₀₃ P ₇₁ K ₁₃₀	– предпосевное внесение N ₁₃₀ P ₁₃₀ K ₁₃₀ – азофоска (марка 16:16:16) в норме 8,1 ц/га (фосфор в запас P ₆₀); – подкормка весной (фаза кущения) – N ₃₆ аммиачная селитра в норме 1,04 ц/га; – подкормка (фаза выхода в трубку) – N ₃₇ аммиачная селитра в норме 1,07 ц/га

Способ посева сплошной – СУ-3. Уборку проводили прямым способом при влажности зерна 15–16% комбайном Terrion 2010. Используемые семена питомника размножения второго года, полученного по авторской методике (Патент № 2558255) (Шпилев и др., 2022; Горбачев и др., 2024), соответствовали 100%-й сортовой чистоте и первому классу посевного стандарта.

Семена протравливали перед посевом на всех вариантах препаратом Терция, на начальном этапе развития опрыскивали двухком-

понентным системным фунгицидом с длительным периодом защиты Колосаль Про, КМЭ. Площадь опытных делянок составляла 50 м², повторность трехкратная.

Исследования проводили в 2021–2023 годах. Метеорологические условия за данный период принципиально не отличались и не могли повлиять на точность полученных результатов, за исключением количества осадков: в период вегетации 2023 г. в мае выпало только 8 мм осадков, а по климатической норме – 65 мм (табл. 2).

Таблица 2. Метеорологические условия проведения исследований (2021–2023 гг.)
Table 2. Weather conditions during the study (2021–2023)

Период, мес.	2021 г.		2022 г.		2023 г.		Климатическая норма	
	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм
Январь	-5,1	57	-4,9	74	-3,5	25	-5,7	46
Февраль	-7,7	33	-1,2	31	-3,9	46	-5,2	42
Март	-0,4	22	-0,6	7	2,1	64	-0,3	38
Апрель	6,9	63	5,7	190	10,4	21	7,7	38
Май	13,4	146	11,4	86	13,2	8	14,1	65
Июнь	19,8	152	19,4	70	17,2	66	17,6	89
Июль	22,3	43	19,5	82	18,7	83	19,5	83
Август	19,7	59	18,1	15	20,4	95	18,1	60
Сентябрь	10,2	133	9,7	120	15,0	3	12,5	70
Октябрь	5,9	50	7,6	83	6,5	101	6,3	56
Ноябрь	2,4	50	0,4	47	1,4	96	0,1	50
Декабрь	-4,5	50	-3,0	96	-2,7	90	-4,1	50

Учитывая, что за март и апрель в сумме выпало осадков больше климатической нормы, образовавшийся запас влаги обеспечил получение прогнозируемой урожайности.

Математическую обработку данных проводили дисперсионным анализом. Экономическую эффективность определяли с использованием метода сравнительного анализа и коэффициента.

Результаты и их обсуждение. Разработку технологии возделывания конкретного сорта необходимо начинать с изучения потенциально возможных почвенно-климатических условий региона и экономического потенциала производителя. Наиболее важными являются факторы, которые не подвержены или мало поддаются нашему влиянию. К таковым относятся: фотосинтетически активная радиация (ФАР), количество осадков, температурный режим. Изучение перечисленных факторов

для Брянской области показывает, что ряд из них, в частности ФАР, не являются лимитирующими для получения максимально запланированного урожая. Так, ФАР обеспечивает поступление 127,4 кДж на 1 см², что достаточно для формирования урожая при использовании посевами среднего показателя ФАР – 4% на уровне 14,43 т/га.

Анализ экспериментальных данных реализации плановой урожайности 5,0 т/га был выполнен практически по всем вариантам и за весь период исследований (табл. 3). При этом максимальная урожайность установлена при норме высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га, которая в среднем за два года составила 5,15 т/га. Достоверно происходило снижение урожайности как при увеличении нормы высева до 5,0 всхожих семян на 1 га, так и ее снижение до 3,0 млн/га независимо от условий периода вегетации.

Таблица 3. Влияние норм высева на реализацию программированной урожайности 5,0 т/га
Table 3. Effect of seeding rates on the implementation of the planned productivity of 5.0 t/ha

Норма высева	I	II	III	Среднее
2022 г.				
3,0	4,90	4,96	4,90	4,92
4,0	4,99	5,07	4,98	5,01
5,0	4,87	4,88	4,90	4,88
HCP _{0,05}				0,06
2023 г.				
3,0	5,01	4,99	4,87	4,96
4,0	5,05	5,16	5,20	5,14
5,0	5,00	5,07	5,09	5,05
HCP _{0,05}				0,17

Правильность расчета системы удобрений для получения запланированной урожайности 7,0 т/га озимой тритикале сорта Форте подтверждена экспериментально (табл. 4). Практически независимо от условий возделывания урожайность незначительно различалась и в среднем за период исследования составила 6,94 т/га.

Также положительно выделялись варианты с нормой высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га, в среднем за два года урожайность составила 7,04 т/га. Урожайность, которую обеспечивали нормы высева 3,0 и 5,0 млн всхожих семян на 1 га, была ниже.

Таблица 4. Влияние норм высева на реализацию программированной урожайности 7,0 т/га
Table 4. Effect of seeding rates on the implementation of the planned productivity of 7.0 t/ha

Норма высева	I	II	III	Среднее
2022 г.				
3,0	6,95	6,90	6,94	6,93
4,0	7,01	7,02	7,09	7,04
5,0	6,73	6,92	6,91	6,84
НСР _{0,05}				0,15
2023 г.				
3,0	6,92	6,90	6,87	6,89
4,0	7,06	7,07	6,99	7,04
5,0	6,90	6,93	6,88	6,90
НСР _{0,05}				0,04

Учитывая НСР_{0,05}, которая равна 0,15, можно утверждать о полном достижении поставленных задач, а именно, получении урожайности 10,0 т/га при норме высева 4,0 млн/га,

при этом незначительно различалась урожайность этого варианта в зависимости от условий возделывания: в 2022 г. – 9,98 т/га, в 2023 г. – 9,85 т/га (табл. 5).

Таблица 5. Влияние норм высева на реализацию программированной урожайности 10,0 т/га
Table 5. Effect of seeding rates on the implementation of the planned productivity of 10.0 t/ha

Норма высева	I	II	III	Среднее
2022 г.				
3,0	9,37	9,50	9,31	9,39
4,0	9,98	9,99	9,97	9,98
5,0	9,78	9,80	9,90	9,82
НСР _{0,05}				0,16
2023 г.				
3,0	9,45	9,51	9,39	9,45
4,0	9,92	9,93	9,90	9,85
5,0	9,67	9,65	9,66	9,66
НСР _{0,05}				0,15

Анализ биологической урожайности показывает, что снижение урожайности произошло во всех вариантах запланированной урожайности.

В рамках выполнения данного исследования была проведена оценка экономической эффективности при различных технологиях возделывания озимой тритикале сорта

Форте (табл. 6). Следует отметить, что разница в производственной себестоимости по годам и технологиям исследования была обоснована различными дозами удобрения, вносимыми по различным технологиям и нормам высева всхожих семян на 1 га возделываемой площади.

Таблица 6. Анализ экономической эффективности технологии выращивания озимой тритикале сорта Форте при различных нормах высева и системе удобрений
Table 6. Analysis of the economic efficiency of the technology for growing the winter triticale variety 'Forte' with different seeding rates and fertilizer system

Показатель	Норма высева, млн всхожих семян		
	3,0	4,0	5,0
Планируемая урожайность 5,0 т/га			
2022 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	35926	37191	38353
Валовой сбор, ц	49,37	50,13	48,83
Выручка, руб.	64181	65169	63479
Валовая прибыль, руб.	28255	27978	25126

Продолжение табл. 6

Показатель	Норма высева, млн всхожих семян		
	3,0	4,0	5,0
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	44,02	44,93	39,58
2023 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	36674	37836	38998
Валовой сбор, ц	49,57	51,37	50,53
Выручка, руб.	49570	51370	50530
Валовая прибыль, руб.	12896	13534	11532
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	26,02	26,35	22,82
Планируемая урожайность 7,0 т/га			
2022 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	43442	44707	45869
Валовой сбор, ц	69,60	70,40	69,20
Выручка, руб.	90480	91520	89960
Валовая прибыль, руб.	47038	46813	44091
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	51,01	51,99	49,01
2023 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	44544	45706	46868
Валовой сбор, ц	68,97	70,40	69,03
Выручка, руб.	68970	70400	69030
Валовая прибыль, руб.	24426	24694	22162
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	35,02	35,48	32,10
Планируемая урожайность 10,0 т/га			
2022 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	51832	53097	54259
Валовой сбор, ц	69,60	70,40	69,03
Выручка, руб.	90480	91520	89960
Валовая прибыль, руб.	47038	46813	44091
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	51,01	51,99	49,01
2023 г.			
Валовая продукция по себестоимости, руб.	53310	54472	55634
Валовой сбор, ц	68,97	70,40	69,03
Выручка, руб.	68970	70400	69030
Валовая прибыль, руб.	24426	24694	22162
Рентабельность продукции по валовой прибыли, %	35,02	35,48	32,10

Анализ данных, представленных в таблице, позволяет сделать вывод о полной окупаемости всех рассматриваемых технологий. Результаты проведенных расчетов убедительно демонстрируют экономическую целесообразность и рентабельность производства озимой тритикале сорта Форте.

Выводы.

1. Максимальную урожайность озимой тритикале сорта Форте, независимо от системы удобрений, обеспечивает норма высева 4 млн всхожих семян на гектар.

2. Урожайность озимой тритикале сорта Форте в объеме 10,0 т/га обеспечит использование системы удобрений $N_{203}P_{71}K_{130}$ по следующей схеме: предпосевное внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ – азофоска (16:16:16) в норме 1,88 ц/га (фосфор в запас P_{16}); подкормка весной (фаза кущения) – N_{10} аммиачная селитра в норме 0,29 ц/га.

3. Урожайность озимой тритикале сорта Форте в объеме 7,0 т/га обеспечит использование системы удобрений $N_{105}P_{37}K_{70}$ по следующей схеме: предпосевное внесение $N_{130}P_{130}K_{130}$ – азофоска (марка 16:16:16) в норме 8,1 ц/га (фосфор

в запас P_{60}); подкормка весной (фаза кущения) – N_{36} аммиачная селитра в норме 1,04 ц/га; подкормка (фаза выхода в трубку) – N_{37} аммиачная селитра в норме 1,07 ц/га.

4. Урожайность озимой тритикале сорта Форте в объеме 5,0 т/га обеспечит использование системы удобрений $N_{40}P_{14}K_{30}$ по следующей схеме: предпосевное внесение $N_{30}P_{30}K_{30}$ – азофоска (16:16:16) в норме 1,88 ц/га (фосфор в запас P_{16}); подкормка весной (фаза кущения) – N_{10} аммиачная селитра в норме 0,29 ц/га.

5. Сельскохозяйственным товаропроизводителям, выращивающим озимую тритикале сорта Форте в условиях юго-запада Российской Федерации, необходимо использовать норму высева 4,0 млн всхожих семян на 1 га при прогнозируемой урожайности 10,0 т/га.

Финансирование. Государственное задание № 12 ГЗ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации: «Эффективность возделывания сортов озимой и яровой тритикале по интенсивной технологии в условиях юго-запада Российской Федерации».

Библиографический список

1. Воронов С. И., Зеленев А. В. Современные технологии адаптивно-ландшафтного земледелия в реализации генетического потенциала зерновых и зернобобовых культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1(73). С. 21–31. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-02
2. Гончаров С. В. Селекционные инновации пшеницы ближайших десятилетий // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 84. С. 121–125. DOI: 10.21515/1999-1703-84-121-125
3. Горбачев К. И., Шпилев Н. С., Лебедько Л. В., Зайцева О. А. Совершенствование схемы первичного семеноводства озимой тритикале // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4(52). С. 178–183. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-178-183
4. Левакова О. В., Жаркова Е. Д. Связь структурных показателей озимой пшеницы с зерновой продуктивностью под влиянием контрастных метеоусловий Центрального региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 4. С. 15–19. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/4/15-19
5. Полухин А. А., Сидоренко В. С., Панарина В. И. Современная селекция и семеноводство в государственном секторе экономики // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 8. С. 64–69. DOI: 10.32651/238-64
6. Тедеева А. А., Тедеева В. В. Элементы технологии возделывания озимой пшеницы в степной зоне РСО – Алания // Аграрная наука. 2021. № 5. С. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-349-5-56-59
7. Шпилев Н. С., Лебедько Л. В., Шепелев С. И., Ториков В. Е., Мельникова О. В. Использование тритикале в кормопроизводстве // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 12. С. 54–60. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-12-6
8. Шпилев Н. С., Ториков В. Е., Сычев С. М., Лебедько Л. В., Сычева И. В. Инновации в селекционно-семеноводческом процессе зерновых культур // Аграрная наука. 2022. № 9. С. 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97

Reference

1. Voronov S. I., Zelenev A. V. Sovremennyye tekhnologii adaptivno-landshaftnogo zemledeliya v realizatsii geneticheskogo potentsiala zernovykh i zernobobovykh kul'tur [Modern technologies of adaptive-landscape agriculture in the implementation of the genetic potential of grain and leguminous crops] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2024. № 1(73). S. 21–31. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-02
2. Goncharov S. V. Selektсионnye innovatsii pshenitsy blizhaishikh desyatiletii [Breeding innovations of wheat in the coming decades] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 84. S. 121–125. DOI: 10.21515/1999-1703-84-121-125
3. Gorbachev K. I., Shpilev N. S., Lebed'ko L. V., Zaitseva O. A. Sovershenstvovanie skhemy pervichnogo semenovodstva ozimoi tritikale [Improving the scheme of primary seed production of winter triticale] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2024. № 4(52). S. 178–183. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-178-183
4. Levakova O. V., Zharkova E. D. Svyaz' strukturnykh pokazatelei ozimoi pshenitsy s zernovoi produktivnost'yu pod vliyaniem kontrastnykh meteouslovii Tsentral'nogo regiona [Correlation between structural indicators of winter wheat and grain productivity under the influence of contrasting weather conditions of the Central region] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. № 4. S. 15–19. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/4/15-19
5. Polukhin A. A., Sidorenko V. S., Panarina V. I. Sovremennaya selektsiya i semenovodstvo v gosudarstvennom sektore ekonomiki [Modern breeding and seed production in the public sector of the economy] // Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii. 2023. № 8. S. 64–69. DOI: 10.32651/238-64
6. Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. Elementy tekhnologii vzdelyvaniya ozimoi pshenitsy v stepnoi zone RSO – Alaniya [Elements of winter wheat cultivation technology in the steppe zone of the Republic of North Ossetia (Alania)] // Agrarnaya nauka. 2021. № 5. S. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-349-5-56-59
7. Shpilev N. S., Lebed'ko L. V., Shepelev S. I., Torikov V. E., Mel'nikova O. V. Ispol'zovanie tritikale v kormoproizvodstve [Use of triticale in forage production] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. Т. 53, № 12. S. 54–60. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-12-6
8. Shpilev N. S., Torikov V. E., Sychev S. M., Lebed'ko L. V., Sycheva I. V. Innovatsii v selektsionno-semenovodcheskom protsesse zernovykh kul'tur [Innovations in breeding and seed production process of grain crops] // Agrarnaya nauka. 2022. № 9. S. 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97

Поступила: 23.03.25; доработана после рецензирования: 11.05.25; принята к публикации: 12.05.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шпилев Н. С. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, написание текста статьи; Лебедько Л. В. – сбор и анализ данных; Гончаров К. И. – сбор данных, анализ литературных источников.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СОРТОВАЯ РЕАКЦИЯ ОВСА ТЮМЕНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ НА ВОЗРАСТАЮЩИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД

А. А. Ахтямова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, gen.i72@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0297-6958;

Д. И. Еремин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, soil-tyumen@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3672-6060;

Ю. В. Савельева, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, savelyeva25@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-8445-3754

НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН,
625501, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, д. 2.

Цель исследования – изучение алюмоустойчивости генотипов овса посевного (*Avena sativa* L.) на ранних этапах онтогенеза. Овес является ценной культурой и широко используется для производства кормов и продовольствия. Объектом испытаний были 6 сортов овса посевного (Отрада, Фома, Талисман, Тобольяк, Сириус, Радужный). На примере сорта Тобольяк (к-15887), был заложен опыт 1 по влиянию уровня pH раствора на ростовую активность семидневных растений. Используя серную кислоту, pH дистиллированной воды довели до 3,6 ед. В качестве контроля использовали дистиллированную воду с pH, равным 6,0 ед. Водные растворы сульфата алюминия для опыта 2 готовили в концентрации 1,5; 3,0; 5,0 г/л, что соответствовало 4, 9 и 15 ммоль/л. Установлено, что независимо от исследуемого варианта pH раствора 6,0 и 3,0 ед. не оказало существенного влияния на ростовую активность в ювенильный период, визуально растения выглядели здоровыми – отсутствовали изменения корневой системы по цвету и форме, как и у проростков. Установлена сортовая реакция овса на токсическое действие возрастающей концентрации ионов алюминия. Наиболее устойчивым к воздействию ионов алюминия с концентрацией 4 и 9 ммоль/л в растворе был сорт Тобольяк – индекс длины корня семидневных проростков растений составлял 57 и 20 % относительно контроля. Наиболее сильный эффект торможения развития растений овса отмечается у сорта Отрада на варианте с концентрацией Al^{3+} 4 ммоль/л – индекс длины корня составил 25 % относительно контроля. Была определена зависимость, выражаемая следующим уравнением регрессии: $y = 0,7x^2 - 20,15x - 157,4$, где y – длина корней на седьмые сутки прорастания, мм; x – концентрация Al^{3+} в растворе, ммоль/л. При этом индекс детерминации (R^2) равен 1, что соответствует идеальной модели линии регрессии, доказывая зависимость длины корня ростков овса от концентрации Al^{3+} в растворе.

Ключевые слова: абиотические факторы, стресс растений, кислые почвы, овес посевной (*Avena sativa* L.), ионы алюминия, индекс длины корня, алюмоустойчивые генотипы.

Для цитирования: Ахтямова А. А., Еремин Д. И., Савельева Ю. В. Сортовая реакция овса тюменской селекции на возрастающие концентрации ионов алюминия в ювенильный период // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 47–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-47-53.



VARIETAL RESPONSE OF OATS OF TYUMEN BREEDING TO INCREASING ALUMINUM ION CONCENTRATIONS IN THE JUVENILE PERIOD

A. A. Akhtyamova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher Laboratory of Genomic Research in Crop Production, gen.i72@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0297-6958;

D. I. Eremin, Doctor of Biological Sciences, leading Researcher Laboratory of Genomic Research in Crop Production, soil-tyumen@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3672-6060;

Yu. V. Savelieva, Junior Researcher Laboratory of Genomic Research in Crop Production, savelyeva25@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-8445-3754

Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Urals – Branch of Federal State Institution, Federal Research Center, Tyumen Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
625501, Tyumen region, Moskovsky, Burlaki Str., 2.

The purpose of the current study was to investigate the aluminum resistance of oat genotypes (*Avena sativa* L.) at early stages of ontogenesis. Oats is a valuable crop which is widely used for feed and food production. The objects of the tests were 6 oat varieties ('Otrada', 'Foma', 'Talisman', 'Tobolyak', 'Sirius', 'Raduzhny'). Using the oat variety 'Tobolyak' (k-15887) as an example, there was conducted experiment 1 to examine the effect of the pH level of the solution on the growth activity of seven-day-old plants. Using sulfuric acid, the pH of distilled water was brought to 3.6 units. Distilled water with a pH of 6.0 units was used as a control. Water solutions of aluminum sulfate for experiment 2 were prepared in concentrations of 1.5; 3.0; 5.0 g/l, which corresponded to 4, 9, and 15 mmol/l. There has been established that regardless of the studied variant, the pH of the solution of 6.0 and 3.0 units had a slight effect on growth activity in the juvenile period, visually the plants looked healthy since there were no changes in color and shape of the root system, as these of the sprouts. There has been identified a varietal reaction of oats to the toxic effect of increasing aluminum ion concentrations. The most resistant to the effects of an aluminum ion concentration of 4 and 9 mmol/l in the solution was the variety 'Tobolyak', the root length index of seven-day plant sprouts

was 57 and 20 % relative to the control. The strongest effect of inhibition of oat plant development was established in the variety 'Otrada' in the variant with an Al^{3+} concentration of 4 mmol/l, the root length index was 25% relative to the control. There has been determined a dependence expressed by the regression equation $y = 0.7x^2 - 20.15x - 157.4$ where y is the length of the roots on the seventh day of germination, mm; x is the concentration of Al^{3+} in the solution, mmol/l. In this case, the determination index (R^2) is equal to 1, which corresponds to the ideal model of the regression line, proving the dependence of the root length of oat sprouts on the concentration of Al^{3+} in the solution.

Keywords: abiotic factors, plant stress, acidic soils, oats (*Avena sativa* L.), aluminum ions, root length index, aluminum-resistant genotypes.

Введение. Снижение продуктивности сельскохозяйственных культур на кислых почвах достаточно давно известно и хорошо изучено (Шкуркин и др., 2022). Многими исследователями было доказано, что растения угнетаются не кислотностью, а токсичным действием ионов алюминия, которые также обуславливают кислую среду. Особенно негативное его влияние проявляется на средне- (рН 4,5–5,0) и сильнокислых (рН < 4,5) почвах. Отдельные сельскохозяйственные культуры испытывают стресс от ионов алюминия даже на слабокислых почвах (рН 5,1–5,5) (Huanhuan et al., 2020).

Проникая внутрь растительной клетки, ионы алюминия нарушают биохимические реакции, что приводит к нарушению физиологического развития на протяжении всей вегетации растений. При систематическом воздействии ионов алюминия на корневую систему отмечается достоверное снижение продуктивности и качества сельскохозяйственных культур вплоть до полной гибели посевов (Vishnyakova et al., 2015). Учитывая тот факт, что почти половина площади пахотного фонда России располагается на почвах с различной кислотностью (Какюгина и Еремин, 2022), следует признать достаточно высокий уровень недобора сельскохозяйственной продукции из-за токсичности ионов алюминия в почве. Также ситуацию усугубляет возрастающая антропогенная нагрузка в сельском хозяйстве, приводящая к повышению кислотности почв с последующим накоплением ионов алюминия в почвенно-поглощающем комплексе.

В географическом понимании Россия считается страной умеренного климата – ее основные площади расположены в таежной и лесостепной зонах. Типичными почвами для этих зон считают подзолистые и серые лесные, которые относятся к категории земель с повышенной кислотностью. По мнению А. Л. Иванова и его коллег (2023), площадь подзолистых и серых лесных почв в России превышает 65 млн га, основная часть которых до настоящего времени не использована. Современная концепция расширения сельского хозяйства в России основана на вовлечении именно этих почв, поэтому необходимо решать проблему высокой кислотности и алюмотоксичности уже сейчас.

В работе О. В. Яковлевой и А. М. Капешинского (2012) отмечается, что для эффективного использования кислых почв необходимо комплексный подход, начиная от выбора технологии возделывания и заканчивая использованием новых сортов сельскохозяйственных культур, обладающих высокой резистентностью к токсическому действию ионов

алюминия. Наиболее эффективным приемом принято считать известкование, которое нейтрализует почвенную кислотность и тем самым снижает токсичность ионов алюминия в почве. В Российской Федерации в известковании остро нуждается треть пахотного фонда (Аканова, 2023), поэтому необходим переход на новые сорта сельскохозяйственных культур, у которых присутствует генетическая алюмоустойчивость. Наименее чувствительной среди зерновых культур к высокой кислотности и способной успешно формировать стабильный урожай при дефиците питательных веществ в почве принято считать овес. В ходе многолетней селекции было создано большое количество сортов овса интенсивного типа, но вместе с тем частично была утрачена их генетическая устойчивость к токсическому действию алюминия (Loskutov et al., 2022).

В связи с особенностью почвенного покрова Сибирских и Северо-Западных регионов современные сорта овса должны обладать устойчивостью к повышенной концентрации ионов алюминия в почве. Это возможно только при введении в селекционный процесс наиболее устойчивых генотипов.

Наиболее яркая реакция на ионы алюминия у растений происходит на ранних этапах прорастания, что дает возможность быстрого и качественного выявления алюмоустойчивых генотипов. Как показали исследования ученых из Всероссийского института генетических ресурсов, существует очень высокая корреляция между алюмоустойчивостью генотипов овса на ранних этапах онтогенеза и продуктивностью (Косарева и др., 2021). К этому же заключению пришла группа ученых под руководством Н. В. Давыдовой (2022), проведя комплексные исследования по устойчивости яровой пшеницы к токсическому действию алюминия. В ходе испытания им удалось выделить алюмоустойчивые селекционные линии с высокой продуктивностью. В настоящее время уже известно, что толерантность к ионам алюминия обусловлена степенью их проникновения в корневые волоски. Тогда как устойчивость к токсическому действию алюминия подразумевает исключение его проникновения в цитозоль клетки, что определяется полигенным типом наследования (Яковлева и др., 2012). Цель исследования – изучение алюмоустойчивости генотипов овса посевного (*Avena sativa* L.) на ранних этапах онтогенеза.

Материалы и методы исследований. Изучение реакции овса на различные концентрации ионов алюминия проводили в лаборатории геномных исследований в расте-

ниеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья в 2024 году. Объектом испытаний были 6 сортов овса посевного (Отрада, Фома, Талисман, Тобояк, Сириус, Радужный), которые являются селекционным достижением института. Подробная характеристика сортов приведена в ранее опубликованных работах (Иванова и др., 2023). Данные сорта себя успешно зарекомендовали и имеют широкое распространение как в Тюменской области (около 80 % от засеваемой площади), так и в соседних регионах.

На примере сорта овса Тобояк (к-15887) был заложен опыт 1 по влиянию уровня pH раствора на ростовую активность семидневных растений. Используя серную кислоту, pH дистиллированной воды довели до 3,6 ед. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Исследования в опыте 2 основаны на способности семян овса посевного (*Avena sativa* L.) реагировать на изменение концентрации ионов алюминия в используемом при проращивании семян растворе. Водные растворы сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) готовили с концентрацией 1,5; 3,0; 5,0 г/л, что соответствует 4, 9 и 15 ммоль/л. Перед закладкой опыта в растворах определяли значения pH.

Определение всхожести семян проводили согласно ГОСТ 12038-85 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». На листе увлажненной соответствующим раствором фильтровальной бумаги раскладывали семена овса зародышами вниз по линии, проведенной на расстоянии 3 см от верхнего края листа. Сверху семена накрывали увлажненным листом бумаги, затем не-

плотно сворачивали в рулон и помещали в вертикальном положении в емкость с раствором. Для создания необходимых условий для прорастания зерна опытные образцы размещали в электрическом суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ и проращивали при температуре 20 °С. По истечении семи дней у проростков был произведен замер длины наибольшего корня каждого проростка на всех вариантах и контроле. Расчет индекса длины корней проводили по формуле 1:

$$\text{ИДК} = L_{\text{оп}}/L_{\text{к}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где: ИДК – индекс длины корня, %; $L_{\text{к}}$ – длина корня контрольного образца, мм; $L_{\text{оп}}$ – длина корня опытного образца, мм.

Математическую обработку данных и дисперсионный анализ проводили с использованием надстройки AgCStat для программного продукта Microsoft Excel (Гончар-Зайкин и др., 2003).

Результаты и их обсуждение. В начале исследований по изучению алюмоустойчивости сортов овса был определен уровень pH растворов при концентрации ионов алюминия от 4 до 15 ммоль/л (рис. 1). Значение pH дистиллированной воды, используемой на контроле, составило 6,0 ед., что соответствовало слабокислой реакции. Растворы сульфата алюминия характеризовались кислой реакцией – pH составил 3,8–4,1 ед. Достоверная разница была только между значениями pH в растворах с концентрацией ионов алюминия 4 и 15 ммоль/л ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 5,0 \%$).

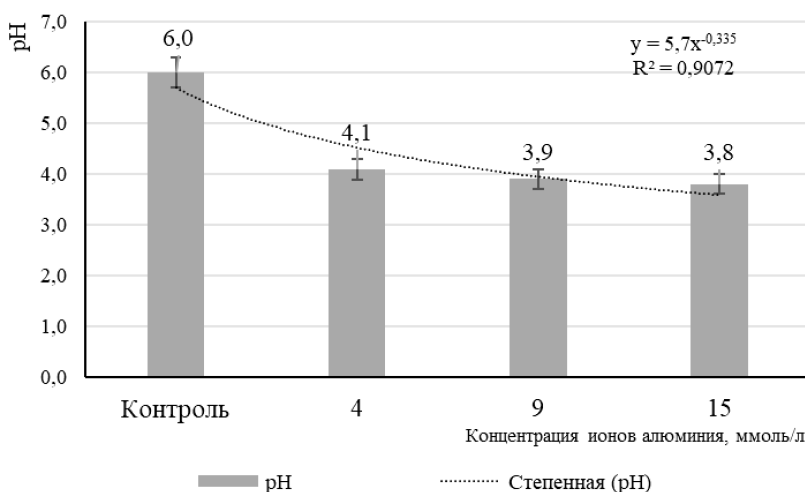


Рис. 1. Влияние различной концентрации Al^{3+} на реакцию среды (pH) водного раствора при 5%-м уровне погрешности, ед.

Fig. 1. Effect of different concentrations of Al^{3+} on the reaction of pH of a water solution at a 5% error level, units

В ходе исследований была установлена высокая связь между концентрацией ионов алюминия и реакцией среды (pH) раствора. Регрессионное степенное уравнение досто-

верно в диапазоне содержания ионов алюминия в растворе до 15 ммоль/л. Коэффициент аппроксимации (R^2) составил 0,9072. Уравнение соответствует следующему типу:

$$y = 5,7x^{-0,335}, \quad (2)$$

где: y – реакция среды (рН) раствора, ед.; x – концентрация Al^{3+} в растворе, ммоль/л.

По истечении семи дней прорастания зерна овса сорта Тоболяк было установлено, что средняя длина корня на варианте с рН 3,6 ед. стала больше на 12 мм относительно

контроля, а сухая масса проростков уменьшилась на 28 мг (табл. 1). Независимо от исследуемого варианта, рН раствора 6,0 и 3,0 ед. не оказало существенного влияния на ростовую активность, визуально растения выглядели здоровыми – отсутствовали изменения корневой системы по цвету и форме, как и у проростков (рис. 2).

Таблица 1. Влияние кислотности водного раствора на ростовую активность семидневных проростков овса сорта Тоболяк
Table 1. Effect of acidity of a water solution on the growth activity of seven-day oat sprouts of the variety 'Tobolyak'

рН раствора	Лабораторная всхожесть, % ($X_{cp} \pm SE$)	Средняя длина корня, мм ($X_{cp} \pm SE$)	Сухая масса корней, мг	Сухая масса проростков, мг	Индекс СКП
6,0	86±1,0	157±0,7	82±4	138±2	0,6
3,6	88±0,9	169±0,8	85±2	110±3	0,8
Среднее по группе, n=2	87	163	84	124	0,7

X_{cp} – средняя длина корня, мм; SE – стандартная ошибка, мм;
 СКП – соотношение массы корней и побегов

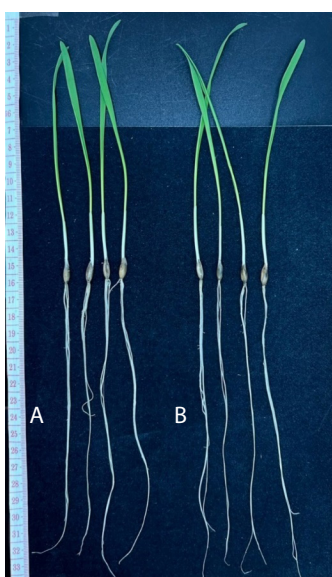


Рис. 2. Влияние кислотности водного раствора на длину корневой системы семидневных проростков овса сорта Тоболяк (А – рН-6,0 ед., В – рН 3,6 ед.)

Fig. 2. Effect of acidity of a water solution on the length of the root system of seven-day oat sprouts of the variety 'Tobolyak' (A – рН 6.0 units, B – рН 3.6 units)

Далее были проведены исследования по влиянию возрастающей концентрации ионов алюминия в растворе на ростовую актив-

ность растений овса. На седьмые сутки прорастания овса на дистиллированной воде у сорта Тоболяк была зафиксирована максимальная длина первичных корешков – 157±0,7 мм, что на 6 % длиннее сортов Отрада и Фома (табл. 2). Сорта Талисман и Радужный характеризовались минимальной длиной корешков – 127±1,1 и 116±0,9 мм соответственно. Столь существенная разница в длине первичных корней при отсутствии каких-либо различий является сортовыми особенностями овса.

Ионы алюминия в концентрации 4 ммоль/л оказали негативное влияние на прорастание семян овса. Длина корней была в 2–4 раза меньше по сравнению с контролем. Максимальная длина первичных корешков была отмечена у сорта Тоболяк – 89±1,8 мм, индекс длины корня составил 57 % относительно контроля (табл. 3). Менее устойчивыми к Al^{3+} проявили себя сорта овса Талисман и Радужный, значения ИДК достигли 45 и 46 % соответственно. Относительно контроля почти в 3 раза уменьшилась длина корня у сортов Фома и Сириус (52±0,9 и 47±1,2 мм соответственно), при этом ИДК составил 35 и 34 % относительно контроля. Наиболее сильное угнетение при концентрации Al^{3+} 4 ммоль/л наблюдалось у сорта Отрада (средняя длина корешков – 37±1,0 мм, ИДК – 25 %).

Таблица 2. Длина корня семидневных проростков овса в зависимости от концентрации ионов алюминия ($X_{cp} \pm SE$), мм
Table 2. Root length of seven-day oat sprouts depending on the aluminum ion concentration ($X_{av} \pm SE$), mm

Сорт (фактор А)	Концентрация Al^{3+} , ммоль/л (фактор В)			
	Контроль	4	9	15
Отрада	149±1,3	37±1,0	16±0,2	11±0,2
Фома	148±1,0	52±0,9	20±0,1	12±0,1
Талисман	127±1,1	57±0,8	23±0,3	12±0,1
Тоболяк	157±0,7	89±1,8	32±0,9	13±0,1
Сириус	137±1,3	47±1,2	18±0,6	11±0,2
Радужный	116±0,9	53±0,7	22±0,5	12±0,3

X_{cp} – средняя длина, мм; SE – стандартная ошибка, мм;

HCP_{05} по фактору А = 1,2; HCP_{05} по фактору В = 1,6; HCP_{05} по взаимодействию АВ = 2,2

Таблица 3. Влияние концентрации сульфата алюминия на индекс длины корней (ИДК) на седьмые сутки прорастивания овса, % относительно контроля
Table 3. Effect of aluminum sulfate concentration on the root length index (RLI) on the seventh day of oat germination, % relative to the control

Сорт (фактор А)	Концентрация Al ³⁺ , ммоль/л (фактор В)		
	4	9	15
Отрада	25	11	7
Фома	35	14	8
Талисман	45	18	9
Тоболяк	57	20	8
Сириус	34	13	8
Радужный	46	19	10

HCP₀₅ по фактору А = 1,0; HCP₀₅ по фактору В = 1,1; HCP₀₅ по взаимодействию АВ = 1,2

При токсическом действии Al³⁺ угнетается развитие первичных корешков растений овса (корешки укорачиваются и уплотняются, приобретая желтоватый оттенок), что объясняется попаданием ионов алюминия внутрь растительной клетки. На рисунке 3 представлен наглядный пример развития корневой системы у овса сорта Тоболяк при токсическом воздействии ионов алюминия.



Рис. 3. Влияние ионов алюминия на развитие корневой системы семидневных проростков овса сорта Тоболяк (А – Контроль, Б – Al³⁺ 4 ммоль/л, В – Al³⁺ 9 ммоль/л, Г – Al³⁺ 15 ммоль/л)

Fig. 3. Effect of aluminum ions on the development of the root system of seven-day oat sprouts of the variety 'Tobolyak' (A – Control, B – Al³⁺ 4 mmol/l, В – Al³⁺ 9 mmol/l, D – Al³⁺ 15 mmol/l)

Увеличение концентрации Al³⁺ в водном растворе до 9 ммоль/л привело к уменьшению длины корня растений овса изучаемых сортов в 4–9 раз относительно контроля, достигнув 16–32 мм. При концентрации Al³⁺ 9 ммоль/л наиболее устойчивым к токсическому воздействию был сорт Тоболяк – индекс

длины корня составил 20 % относительно контроля (длина корня – 32±0,9 мм). Под воздействием стресса у сортов Талисман и Радужный длина корня составляла 23±0,3 и 22±0,5 мм (ИДК – 18 и 19 %) соответственно. Менее устойчивыми к воздействию Al³⁺ с концентрацией 9 ммоль/л в водном растворе были сорта овса Отрада, Фома и Сириус – индекс длины корня варьировал от 11 до 14 % относительно контроля, при этом длина корня была в диапазоне от 16±0,2 до 20±0,1 мм.

Высокие концентрации ионов алюминия (15 ммоль/л) оказали негативное влияние на длину корней семидневных проростков овса изучаемых сортов, достигнув 11–13 мм, при этом максимальные значения ИДК отмечались у сорта Радужный (10 % относительно контроля). Ингибирование деления растительных клеток вызвано алюмотоксичностью, что в результате привело к задержке развития первичных корешков и, как следствие, к снижению поглощения воды растением овса. С учетом динамики изменения длины корня у растений изучаемых сортов наиболее устойчивым к воздействию Al³⁺ был сорт Тоболяк. В связи с этим было рассчитано квадратичное регрессионное уравнение, которое достоверно в диапазоне содержания Al³⁺ в растворе до 15 ммоль/л. Индекс детерминации (R²) равен 1, что соответствует идеальной модели линии регрессии, доказывая зависимость длины корня ростков овса от концентрации Al³⁺ в растворе. Уравнение соответствует следующему типу:

$$y = 0,7x^2 - 20,15x - 157,4, \quad (3)$$

где: у – длина корня семидневных проростков овса, мм; х – концентрация ионов алюминия в растворе, ммоль/л.

Выводы. Установлено, что pH водного раствора 6,0 и 3,6 ед. не оказывают существенно влияния на ростовую активность овса сорта Тоболяк в ювенильный период. Наиболее устойчивым к токсическому воздействию ионов алюминия на ранних этапах онтогенеза с концентрацией 4 и 9 ммоль/л в растворе был сорт Тоболяк – индекс длины корня семидневных проростков растений составил 57 и 20 % относительно контроля. Выявлено, что на варианте с максимальной концентрацией ионов

алюминия (15 ммоль/л) наибольшие значения индекса длины корня были у сорта Радужный (10%). Наиболее сильный ингибирующий эффект при взаимодействии с ионами алюминия с концентрацией 4, 9 и 15 ммоль/л отмечался у сорта Отрада – ИДК достиг 7 % относительно контроля.

Финансирование. Работа выполнена за счет государственного задания № 124022900011-6 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Библиографический список

1. Аканова Н. И. Эффективность известкования как фактор плодородия почв и охраны окружающей среды // *Плодородие*. 2023. № 3(132). С. 5–9. DOI: 10.25680/S19948603.2023.132.01
2. Гончар-Зайкин П. П., Чертов В. Г. Надстройка к EXCEL для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов // Рациональное использование и сельскохозяйственное производство в южных регионах Российской Федерации: сборник материалов научно-практической конференции «Разработка адаптивных систем природоохранных технологий производства сельскохозяйственной продукции в аридных районах России». М., 2003. С. 559–565.
3. Давыдова Н. В., Марченкова Л. А., Павлова О. В., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Широколава А. В. Адаптивность сортов и линий яровой пшеницы к искусственно создаваемым осмотическому, солевому и кислотному стресс-факторам на ранних этапах онтогенеза // *Биосфера*. 2022. Т. 14, № 4. С. 306–310.
4. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М., Оглезнев А. К., Петросян Р. Д., Шиллов П. М. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2020. № 103. С. 168–187. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187
5. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Брагина М. В. Оценка технологических показателей коллекционных сортов овса в Тюменской области // *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23, № 10. С. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-2-10
6. Косарева И. А., Блинова Е. В., Лоскутов И. Г. Овес: характеристика образцов по устойчивости к алюмоотоксичности кислых почв // СПб.: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова», 2021. 44 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-77-1
7. Каюгина С. М., Еремин Д. И. Вариабельность физико-химических свойств темно-серых лесных почв Северного Зауралья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022. № 4(96). С. 13–18. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-13-18
8. Шкуркин С. И., Носиков В. В., Торшин С. П. Основоположник коллоидной химии почв // *Плодородие*. 2022. № 2(125). С. 71–73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17
9. Яковлева О. В., Капешинский А. М. Генетические основы устойчивости к токсичным ионам алюминия у разных видов злаков // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012. Т. 170, С. 45–57.
10. Vishnyakova M. A., Semenova E. V., Kosareva I. A., Kravchuk N. D., Loskutov C. I., Pukhalskii I. V., Shaposhnikov A. I., Sazanov A. L., Belimov A. A. Method for rapid assessment of aluminum tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) // *Agricultural Biology*. 2015. Vol. 50, № 3. P. 353–360. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.353rus
11. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova YU L. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022. Vol. 183, № 3. P. 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110
12. Huanhuan G., Sang Y., Jiayi W., Liuyan W., Ruili W., Wei L., Lijiao M., Fang Y., Qingyuan Z., Cui C. Genome-wide association analysis of aluminum tolerance related traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) during germination // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020. Vol. 68, P. 335–357. DOI: 10.1007/s10722-020-00989-2

References

1. Akanova, N. I. Effektivnost' izvestkovaniya, kak faktor plodorodiyi pochv i okhrany okruzhayushchei sredy [Efficiency of liming as a factor of soil fertility and environmental protection] // *Plodorodie*. 2023. № 3(132). S. 5–9. DOI: 10.25680/S19948603.2023.132.01
2. Gonchar-Zaikin P. P., Chertov V. G. Nadstroika k EXCEL dlya statisticheskoi otsenki i analiza rezul'tatov polevykh i laboratornykh opytov [EXCEL add-on for statistical assessment and analysis of field and laboratory trials] // *Ratsional'noe prirodopol'zovanie i sel'skokhozyaistvennoe proizvodstvo v yuzhnykh regionakh Rossiiskoi Federatsii: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii «Razrabotka adaptivnykh sistem prirodookhrannykh tekhnologii proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii v aridnykh raionakh Rossii»*. M., 2003. S. 559–565.
3. Davydova N. V., Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Chavdar' R. F., Orlova T. G., Shirokolava A. V. Adaptivnost' sortov i linii yarovoi pshenitsy k iskusstvenno sozdavaemym osmoticheskomu, solevomu i kislotnomu stress-faktorom na rannikh etapakh ontogeneza [Adaptability of spring wheat varieties and lines to artificially created osmotic, salt and acid stress factors at early stages of ontogenesis] // *Biosfera*. 2022. T. 14, № 4. S. 306–310.
4. Ivanov A. L., Stolbovoi V. S., Grebennikov A. M., Ogleznev A. K., Petrosyan R. D., Shilov P. M. Ranzhирование kislykh pochv po prioritnosti provedeniya izvestkovaniya v Rossiiskoi Federatsii [Ranking of acidic soils by priority of liming in the Russian Federation] // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2020. № 103. S. 168–187. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187

5. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Bragina M. V. Otsenka tekhnologicheskikh pokazatelei kolleksiionnykh sortov ovsa v Tyumen'skoi oblasti [Estimation of technological indicators of collection oat varieties in the Tyumen region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2023. T. 23, № 10. S. 2–10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-2-10
6. Kosareva I. A., Blinova E. V., Loskutov I. G. Oves: Kharakteristika obraztsov po ustoichivosti k alyumotoksichnosti kislykh pochv [Oats: Characteristics of samples according to resistance to aluminum toxicity of acidic soils]. SPb.: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Federal'nyi issledovatel'skii tsentr Vserossiiskii institut geneticheskikh resursov rastenii im. N. I. Vavilova», 2021. 44 s. DOI: 10.30901/978-5-907145-77-1
7. Kayugina S. M., Eremin D. I. Variabel'nost' fiziko-khimicheskikh svoystv temno-serykh lesnykh pochv Severnogo Zaural'ya [Variability of physical and chemical properties of dark gray forest soils of the Northern Trans-Urals] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 4(96). S. 13–18. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-13-18
8. Shkurkin S. I., Nosikov V. V., Torshin S. P. Osnovopolozhnik kolloidnoi khimii pochv [The founder of colloidal chemistry of soils] // Plodorodie. 2022. № 2(125). S. 71–73. DOI: 10.25680/S19948603.2022.125.17
9. Yakovleva O. V., Kapeshinskii A. M. Geneticheskie osnovy ustoichivosti k toksichnym ionam alyuminiya u raznykh vidov zlakov [Genetic basis of resistance of different types of cereals to toxic aluminum ions] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2012. T. 170, S. 45–57.
10. Vishnyakova M. A., Semenova E. V., Kosareva I. A., Kravchuk N. D., Loskutov C. I., Pukhalskii I. V., Shaposhnikov A. I., Sazanova A. L., Belimov A. A. Method for rapid assessment of aluminum tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) // Agricultural Biology. 2015. Vol. 50, № 3. P. 353–360. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.3.353rus
11. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova YU L. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022. Vol. 183, № 3. P. 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110
12. Huanhuan G., Sang Y., Jiayi W., Liuyan W., Ruili W., Wei L., Lijiao M., Fang Y., Qingyuan Z., Cui C. Genome-wide association analysis of aluminum tolerance related traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) during germination // Genetic Resources and Crop Evolution. 2020. Vol. 68, P. 335–357. DOI: 10.1007/s10722-020-00989-2

Поступила: 24.03.25; доработана после рецензирования: 20.05.25; принята к публикации: 03.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ахтямова А. А., Еремин Д. И. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Савельева Ю. В. – подготовка опыта, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПАРОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Е. А. Дёмин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник института фундаментальных и прикладных агробιοтехнологий, gambitn2013@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2542-3678;

С. С. Миллер, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник института фундаментальных и прикладных агробιοтехнологий, millerss@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2406-0142

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7

Исследование проводили на опытном поле ГАУ Северного Зауралья на черноземе выщелоченном в условиях лесостепной зоны Зауралья в 2023–2024 годах. Цель исследования – установить баланс органического углерода в черноземе выщелоченном при возделывании различных культур и паров в условиях Западной Сибири. В течение вегетации на всех изучаемых вариантах эмиссия углерода увеличивается с мая по июль и в дальнейшем опускается к осени. В умеренно увлажненном 2023 г. потери углерода в результате дыхания почвы в посевах яровой пшеницы составляли 2,4 т/га, кукурузы – 3,2 т/га и люцерны – 3,8 т/га. В избыточно увлажненном 2024 г. эмиссия увеличилась на 46 % в посевах яровой пшеницы, на 16 % – в кукурузе и на 21 % – в посевах люцерны. В избыточно увлажненном 2024 г. масса растительных остатков была больше, чем в умеренно увлажненном, на 31 и 22 % в посевах пшеницы и кукурузы, на 6 и 26 % – в посевах люцерны и в занятом пару. В умеренно увлажненном 2023 г. содержание C_{org} в корневых и пожнивных остатках было выше на 0,7–2,5 %, чем в избыточно увлажненном году. Определено, что в умеренно увлажненном году потери углерода из почвы составляли -0,2 т/га при возделывании яровой пшеницы; -1,5 т/га – кукурузы; -1,0 и -1,8 т/га – в занятом и черном парах соответственно. Положительный баланс +0,2 т/га был получен лишь при возделывании люцерны. В избыточно увлажненном году отрицательный баланс углерода в почве был получен на всех изучаемых вариантах. В посевах пшеницы он увеличивался до -0,6 т/га, кукурузы – на 13 %, в посевах люцерны – до -0,5 т/га. Однако в паровых полях потери углерода уменьшились до -0,4 т/га в занятом пару и до -1,3 т/га – в черном пару.

Ключевые слова: эмиссия углекислого газа, диоксид углерода, яровая пшеница, кукуруза, люцерна, занятый пар, черный пар, солома, корневые и пожнивные остатки, содержание углерода.

Для цитирования: Дёмин Е. А., Миллер С. С. Баланс органического углерода при возделывании различных сельскохозяйственных культур и паров в условиях Северного Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 54–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-54-62.



ORGANIC CARBON BALANCE DURING CULTIVATION OF VARIOUS AGRICULTURAL CROPS AND FALLOW LANDS IN THE NORTHERN TRANS-URALS

E. A. Demin, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, gambitn2013@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2542-3678;

S. S. Miller, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, millerss@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2406-0142
FSBEI HE "Northern Trans-Ural State Agricultural University", 625003, Tyumen region, Tyumen, Respublik Str., 7

The current study was conducted on leached blackearth of the experimental plot of the Northern Trans-Ural SAU located in the forest-steppe of the Trans-Urals in 2023–2024. The purpose of the study was to establish the organic carbon balance in leached blackearth during the cultivation of various crops and fallows in the Western Siberia. During the vegetation period, in all studied variants, carbon emissions increased from May to July and then decreased towards the autumn. In the moderately wet 2023, carbon losses due to soil respiration amounted to 2.4 t/ha in spring wheat crops, 3.2 t/ha in maize crops and 3.8 t/ha in alfalfa crops. In the excessively wet 2024, emissions increased by 46 % in spring wheat crops, by 16 % in maize crops and by 21 % in alfalfa crops. In the excessively wet 2024, the mass of plant residues was larger than in the moderately wet 2023 by 31 %, 22 % in wheat and maize crops, by 6 % and 26 % in alfalfa crops and in sown fallow. In the moderately wet 2023, the C_{org} content in root and stubble residues was 0.7–2.5 % higher than in the excessively wet 2024. There has been determined that in the moderately wet year, carbon losses from the soil were -0.2 t/ha during spring wheat cultivation, -1.5 t/ha during maize cultivation, -1.0 t/ha in sown fallow and -1.8 t/ha in weedfree fallow. A positive balance of +0.2 t/ha was obtained only when cultivating alfalfa. In an excessively wet year, a negative carbon balance in soil was obtained in all the studied variants. It increased to -0.6 t/ha in wheat crops, by 13 % in maize crops, and to -0.5 t/ha in alfalfa crops. However, carbon losses decreased to -0.4 t/ha in sown fallow and to -1.3 t/ha in weedfree fallow.

Keywords: carbon dioxide emission, carbon dioxide, spring wheat, maize, alfalfa, sown fallow, weedfree fallow, straw, root and crop residues, carbon content.

Введение. Плодородные почвы – одно из главных достояний общества. Основным показателем плодородия являются высокое содержание и запасы органического углерода, который обеспечивает благоприятные агрофизические и агрохимические характеристики почвы (Свирина и др., 2023). Увеличение численности населения приводит к возникновению определенных трудностей перед обществом, а именно: потребности в средствах для благополучного существования, продуктах питания и т.д. Это приводит к тому, что увеличивается мощность промышленных, перерабатывающих предприятий, а также возрастает интенсивность использования пахотных почв. Все это вызывает увеличение выбросов газов антропогенного характера в атмосферу, которые оказывают влияние на климат (Савельева, 2013).

Доля дыхания пахотных почв в общей эмиссии парниковых газов достаточно высокая, и, как показывают исследования, зависит от ряда причин, таких как содержание органического углерода, температура, влажность и биологическая активность почвы (Иванов и др., 2023). В одном ряду с этими факторами находятся типы сельскохозяйственных угодий, а также возделываемые виды культур. Вид культуры оказывает влияние на продуцирование CO_2 из почвы косвенно в связи с выделением корневой системой особых ферментов в ризосферу, что приводит к увеличению численности колоний определенных групп микроорганизмов. Дополнительно влияет биомасса растений на температуру почвы в связи с затенением, что также приводит к изменению интенсивности биохимических процессов, протекающих в ней.

Все это приводит к изменению интенсивности эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы. Дополнительно вид культуры оказывает и прямое влияние на скорость продуцирования CO_2 . Это происходит в связи с собственным дыханием корневой системы, и в зависимости от ее массы и распределения по горизонту почвы ее вклад в формирование суммарной эмиссии может существенно различаться (Башкин, 2023).

Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере привело к тому, что в последние годы существенно обострилась проблема изменения климата: по последним данным, впервые с доиндустриального периода среднегодовая температура воздуха увеличилась на $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ (Cannon, 2025). Повышение температуры воздуха на эту величину ведет к тому, что происходит цепное изменение погодных условий во всех климатических зонах мира. В различных регионах России отмечается динамика по снижению количества осадков в районах достаточного увлажнения и их существенный дефицит в зонах недостаточного увлажнения, в то время как в зонах избыточного увлажнения происходит превышение годовых норм осадков (Demichev et al., 2024). Все это

приводит к ключевой проблеме получения урожая, способного обеспечить продовольственную безопасность населения планеты в целом и в России в частности. Для снижения неблагоприятного воздействия на климат парниковых газов была принята концепция «4 промилле», в рамках которой необходимо обеспечить повышение запасов органического углерода в пахотных почвах мира. Сама по себе концепция одновременно решает несколько основных проблем. Это снижение неблагоприятного воздействия антропогенных выбросов парниковых газов на климат, а также повышение плодородия пашни (Романенков и др., 2024). Однако для решения данной задачи необходимо определение доли влияния технологических приемов, природных факторов и других переменных на оценку способности пахотных почв депонировать углерод в определенных погодных и почвенных условиях. Без проведения оценки влияния всех возможных факторов на секвестрационную способность почвы невозможно разработать оптимальную систему углеродсберегающего земледелия.

Целью исследования являлось установление баланса органического углерода в черноземе выщелоченном при возделывании различных культур и паров в условиях Западной Сибири.

Материалы и методы исследований.

Исследование проводили в условиях лесостепной зоны Зауралья в 2023–2024 гг. на основных культурах, возделываемых в регионе растениеводческими (яровая пшеница) и животноводческими (кукуруза, люцерна) предприятиями АПК. В связи с тем, что многие хозяйства используют черные и занятые пары (однолетние травы) для возделывания озимых культур, было принято решение их также включить в схему опыта. Почвенный покров представлен одной из основных, наиболее плодородных и распространенных почв лесостепной зоны Западной Сибири – черноземом выщелоченным. Основные агрохимические характеристики: содержание органического вещества – $4,0 \pm 0,8\%$ (ГОСТ 26213-2021); обменная кислотность – $5,5 \pm 0,3$ ед. рН (ГОСТ Р 58594-2019); нитратный азот – $9,1 \pm 5,4$ мг/кг (ГОСТ 26951-86); содержание подвижного фосфора – 71 ± 20 мг/кг, калия – 146 ± 38 мг/кг (ГОСТ 26204-91). Размер опытных делянок под вариантами составлял от 200 до 500 м². Технологические операции по возделыванию сельскохозяйственных культур, сроки проведения и нормы высева являлись традиционными для зоны северной лесостепи (Абрамов и др., 2019). Исследование проводили на естественном питательном фоне, удобрения не использовали. Основная обработка почвы на всех вариантах отвальная – 20–22 см. Перед посевом зерновой и пропашной культуры проводили культивацию. В дальнейшей сеяли яровую пшеницу СЗМ-5,4, кукурузу СУПН-8А, после прикатывали ЗККШ-6. В фазу кущения яровой пшеницы и фазу 4–5-го листа кукурузы проводили обработку

гербицидами. Уборку проводили в фазу полной спелости яровой пшеницы на зерно и молочно-восковой кукурузы на зеленую массу. В качестве многолетних трав изучали люцерну второго года пользования, которую использовали на зеленую массу. В 2023 г. измерение концентрации углекислого газа проводили инфракрасным газоанализатором AZ77535. Более подробно с системой агротехнических мероприятий и методикой проведения исследований в опыте можно ознакомиться в опубликованной работе (Demín, 2024). В 2024 г. для измерения использовали систему PriEco PRI-8610, замеры проводили в 3-кратном повторении. В дальнейшем с помощью расчетов определяли общую эмиссию углерода с единицы площади за вегетацию. Перед уборкой

на варианте с яровой пшеницей отбирали снопы с 1 м², в дальнейшем определяли выход массы соломы с единицы площади. После уборки на всех вариантах, за исключением черного пара, проводили отбор корнепоживных остатков и устанавливали их массу с гектара, после чего в образцах растительного материала определяли содержание органического углерода по аттестованной методике (ГОСТ 27980-88).

Погодные условия 2023–2024 гг. существенно отличались от средних многолетних значений (ГТК – 1,1 ед.). 2023 г. характеризовался как умеренно теплый и увлажненный, ГТК составлял 1,0 ед., а в 2024 г. ГТК составлял 1,4 ед. Более подробно погодные условия представлены на рисунке 1.

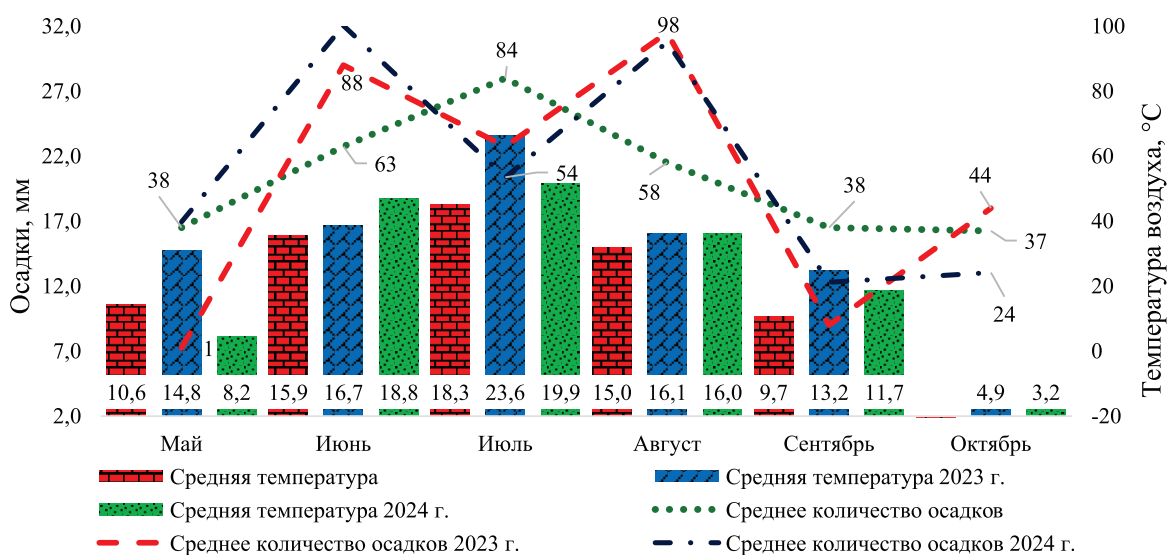


Рис. 1. Погодные условия периода исследований
Fig. 1. Weather conditions during the study

Результаты и их обсуждение. В посевах яровой пшеницы дыхание почвы в пересчете на чистый углерод существенно отличалось по годам исследований. В 2023 г., когда гидротермический коэффициент периода вегетации составлял 1,0 ед. и характеризовался как умеренно увлажненный, продуцирование углерода в сутки увеличивалось с мая по июль с 13,4 до 24,1 кг/га. Тогда как в 2024 г., который характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК – 1,4 ед.), дыхание почвы в сутки увеличивалось с начала весны до середины лета более интенсивно – с 10,2 до 37,5 кг С/га (рис. 2).

В дальнейшем происходило снижение скорости эмиссии углерода. В 2023 г. с августа по октябрь значения снизились с 13,1 до 4,0 кг С/га в сутки. В 2024 г. в этот же промежуток времени дыхание снижалось с 31,7 до 2,3 кг С/га в сутки. Увлечение скорости дыхания почвы с весны до середины лета связано с рядом причин, и главная из которых – повышение температуры воздуха, которая способствовала прогреву почвы, и, как следствие, усилению

протекающих в почве процессов минерализации органического вещества в результате более активной работы почвенной микробиоты. Этот же фактор, только вместе с более высоким количеством атмосферных осадков, в 2024 г. приводил к созданию более благоприятных условий для микробной массы почвы, что и повлияло на более активное продуцирование СО₂ в сравнении с умеренно увлажненным годом. Фактором, который также оказывает влияние на то, что повышаются потери углерода из почвы в результате дыхания, является корневая система, которая к середине лета набирает практически максимальную массу, а это приводит к повышению газообмена в почве (Лаврентьева, 2017). Начало снижения эмиссии углерода со второй половины лета связано с тем, что начинает происходить снижение атмосферной температуры, а биомасса растений становится настолько большой, что существенно затеняет поверхность почвы. Это приводит к тому, что почва начинает постепенно остывать, а биологическая активность почвы начи-

нает также уменьшаться в результате снижения численности колоний почвенных микроорганизмов. Резкое уменьшение дыхания почвы в начале осени связано не только с понижением температуры почвы и уменьшением активности микробиоты, но также с тем, что растения находятся в фазе созревания и доля корневой системы в почвенном газообмене резко умень-

шается. После уборки яровой пшеницы в середине сентября и проведения основной обработки почвы корневая система постепенно отмирает и перестает влиять на почвенное дыхание, а низкая температура приводит к практически полной приостановке протекающих в почве биохимических процессов.

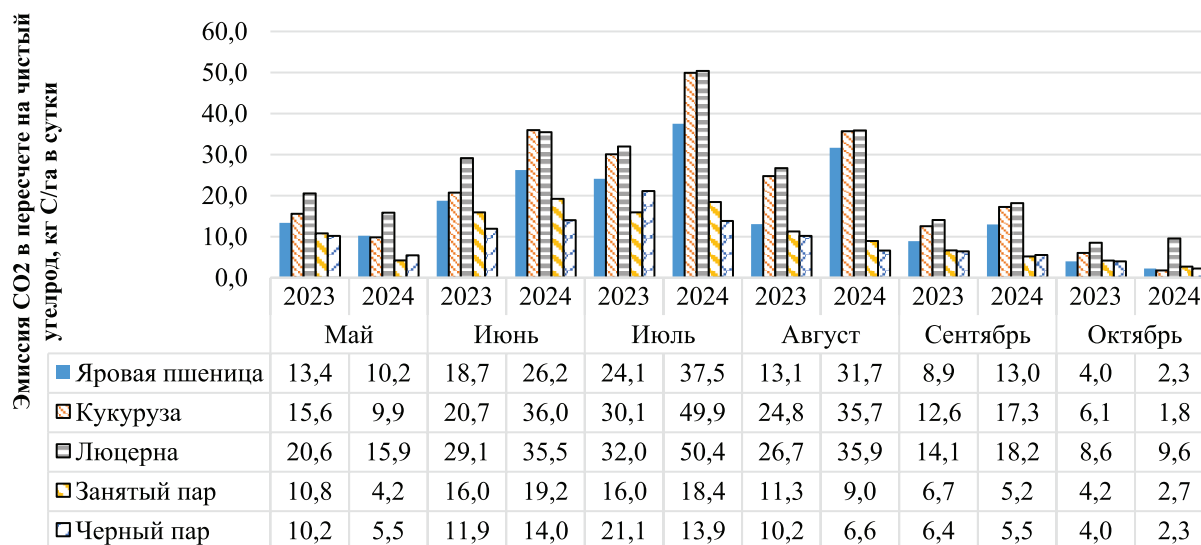


Рис. 2. Эмиссия диоксида углерода в пересчете на чистый углерод в посевах различных сельскохозяйственных культур и паров, кг С/га в сутки

Fig. 2. Carbon dioxide emission in terms of pure carbon in crops of various agricultural crops and fallows, kg C/ha per day

Примечание. Фактор А – вид возделываемых культур и паров, $HCP_{05} = 2,1$ кг/га; фактор В – период вегетации, $HCP_{05} = 4,3$ кг/га; фактор С – годы исследований, $HCP_{05} = 3,6$ кг/га.

Эмиссия углерода в посевах кукурузы в умеренно увлажненном 2023 г. в мае была на 16 % (2,2 кг С/га в сутки) выше значений, полученных в посевах яровой пшеницы. К июлю дыхание почвы увеличилось практически в двое – до 30,1 кг/га в сутки в пересчете на чистый углерод. В этот период потери углерода из почвы в результате эмиссии CO₂ в посевах кукурузы были на 25 % (6,0 кг С/га в сутки) выше, чем в пшенице. В дальнейшем отмечалась подобная динамика, как и на варианте с посевами яровой пшеницы, где происходило снижение скорости продуцирования CO₂ вплоть до октября. Однако отчуждение углерода в результате дыхания почвы было существенно выше – на 42–89 % – относительно яровой пшеницы. В избыточно увлажненном 2024 г. отмечалось повышение продуцирования CO₂ с июля по сентябрь, где значения потерь углерода в результате дыхания были на 37–74 % (4,7–19,8 кг С/га в сутки) выше, чем в умеренно увлажненный год. В мае и октябре 2024 г. эмиссия углерода в посевах кукурузы была на 37–71 % (4,3–5,7 кг С/га в сутки) меньше, чем в 2023 году. Это наверняка связано с низким температурным режимом почвы в начале весны и середине осени из-за пониженной атмосферной температуры. Высокие потери

углерода в результате эмиссии CO₂ в посевах кукурузы связаны с более мощной корневой системой, которая оказывала больший вклад в газообмен почвы. Дополнительно это подтверждается тем, что в мае (начало развития кукурузы), когда коневая система практически не развита, и в октябре (после ее уборки), когда корни отмирают, существенных отличий в скорости продуцировании углерода относительно яровой пшеницы не наблюдается.

Многолетние травы, как показывает ряд исследований, обладают большой массой корневой системы, которая ежегодно в течение вегетации увеличивается и превосходит корневую систему зерновых культур. Это вносит определенный вклад в формирование общей эмиссии диоксида углерода в посевах многолетних растений, а именно: повышает интенсивность дыхания почвы благодаря большему газообмену корневой системы с почвенным воздухом. Дополнительно мощная корневая система многолетних трав приводит к тому, что агрофизические свойства почвы деградируют менее интенсивно в сравнении с зерновыми культурами. В результате этого в посевах многолетних трав средняя аэрация и плотность почвы в метровом слое остаются более благоприятными для развития почвенной микробиоты

и это приводит к усилению протекающих биохимических процессов в ней, и, как следствие, увеличивает интенсивность эмиссии углерода из почвы (Eghbali et al., 2024). Немаловажным фактором остается то, что корневая система люцерны находится в симбиозе с азотофиксаторами в почве, численность которых существенно выше, чем в посевах зерновых культур, а это приводит также к повышению интенсивности дыхания почвы (Эседуллаев и др., 2016). В связи с этим в посевах люцерны второго года пользования эмиссия углерода была на 13–22 % (4,2–13,7 кг С/га в сутки) выше, чем в посевах яровой пшеницы. Динамика изменения скорости дыхания при этом была подобна яровой пшенице и кукурузе и увеличивалась в умеренно увлажненном 2023 г. с мая по июль с 20,6 до 32,0 кг С/га в сутки и в дальнейшем опускалась к октябрю до 8,6 кг С/га в сутки. В избыточно увлажненном 2024 г. эмиссия углерода с июня по сентябрь была более высокая, где значения были на 22–58 % (4,1–18,4 кг С/га в сутки) выше, чем в умеренно увлажненном 2023 году. Более высокая динамика продуцирования CO_2 в избыточно увлажненном году связана с тем, что достаточное увлажнение почвы даже в период, когда начался дефицит атмосферных осадков, позволяло почвенной микробиоте развиваться и активно участвовать в процессе трансформации органического вещества. В умеренно увлажненном году в течение вегетации также отмечался периодический дефицит осадков, однако из-за малой влажности почвы биохимические процессы и колонии микроорганизмов в почве начинали уменьшаться.

Дыхание почвы в занятом пару зависит от видов смеси используемых культур. Преобладание в смеси бобовых культур над злаковыми будет приводить к более активному дыханию почвы из-за симбиоза с азотофиксирующими бактериями. На продуцирование углерода будут напрямую влиять сроки посева и уборки, так как именно от них будет зависеть активность роста корневой системы и ее мощность. Дополнительно влияние будет оказывать предшественник, а именно: биомасса побочной продукции, оставленной на поле, дозы и виды используемых на нем удобрений. В связи с тем, что посев однолетних трав проводили после посева яровой пшеницы и кукурузы, а именно в конце мая, а уборку – в середине июля, это приводило к тому, что корневая система не успевала набрать большую массу, а азотофиксаторы – существенно увеличить численность колоний. В результате этого весомого влияния данных факторов на дыхание почвы не отмечалось. В связи с этим на протяжении всего периода вегетации эмиссия углерода была на 14–72 % (1,8–22,7 кг С/га в сутки) меньше, чем под посевами яровой пшеницы. При этом была отмечена схожая с другими культурами динамика дыхания почвы, где в умеренно увлажненном 2023 г. продуцирование углерода повышалось с 10,8

до 16,0 кг С/га в сутки с мая по июль и в дальнейшем опускалась до 4,2 кг С/га в сутки к октябрю. В избыточно увлажненном 2024 г. динамика была такой же, однако в мае и августе продуцирование углерода было на 21–61 % (2,3–6,6 кг С/га в сутки) меньше, а в июне и июле – на 16–21 % (2,5–3,3 кг С/га в сутки) больше, чем в 2023 году. Более высокая эмиссия в июне и июле в условиях хорошего увлажнения наверняка связана с тем, что активно работала почвенная микробиота, что приводило к более высокой эмиссии диоксида углерода. Более поздний посев однолетних трав в 2024 г. и ранняя уборка привели к тому, что вклад корневой системы в дыхание почвы в начале развития (май) и после уборки (август) был минимальным.

В черном пару в связи с отсутствием посевов и периодическими механическими обработками практически полностью отсутствуют растения в течение вегетации. Это приводит к тому, что в дыхании почвы принимает участие только почвенная микробиота, которая участвует в биохимических процессах, протекающих в почве. В результате этого с мая по октябрь эмиссия углерода на данном участке существенно – на 12–79 % (2,5–25,0 кг С/га в сутки) – меньше, чем под посевами яровой пшеницы. Динамика изменения интенсивности дыхания почвы в течение вегетации была схожа с другими изучаемыми участками. С мая по июль 2023 г. происходило увеличение дыхания почвы с 10,2–21,1 кг С/га в сутки и в дальнейшем продуцирование CO_2 снижалось до 4,0 кг С/га в сутки к октябрю. В более увлажненный год отмечалось снижение дыхания почвы относительно умеренно увлажненного в мае, июле и августе на 34–46 % (3,6–7,3 кг С/га в сутки). В другие периоды достоверных отличий не наблюдалось. Снижение уровня дыхания почвы в 2024 г. может быть связано с рядом причин: первая – более низкие запасы органического углерода в почве, вторая – меньшее поступление растительных (органических) остатков от предшественника. Это, несмотря на более благоприятные для развития микрофлоры условия, могло являться ограничивающим фактором в повышении численности колоний микроорганизмов и, как следствие, дыхания почвы. В ряде работ отмечается подобная тенденция, где в паровых полях наблюдается более низкая эмиссия диоксида углерода в сравнении с участками, занятыми сельскохозяйственными культурами. Л. Г. Соколова со своими коллегами (2021) в работе подтверждает, что на варианте с сидерацией фиксировалось повышение эмиссии CO_2 в период вегетации растений в 1,1–2,5 раза относительно черного пара. Автор связывает усиление эмиссии CO_2 в период вегетации с увеличением вклада корневого дыхания и дыхательной активности ризосферной микрофлоры по мере активного прироста биомассы и корневой экскреции (Соколова и др., 2021). О. Э. Суховеева и др. (2024) со сво-

ими коллегами отмечает, что общая эмиссия диоксида углерода за вегетацию по культурам увеличивается в ряду «картофель < чистый пар < ячмень < озимая рожь». При этом автор объясняет, что низкое дыхание почвы под картофелем обусловлено применяемым при его возделывании гребневанием, в результате которого в летний период существенно повышается температура почвы и резко падает влажность. Активное дыхание почвы под озимой рожью возникает благодаря мощной растительной биомассе и коневой системе, что позволяет в затененной почве сохранить влагу и более активно участвовать коневой системе в дыхании почвы (Суховеева и др., 2024).

Поступающие в почву растительные остатки при возделывании сельскохозяйственных культур являются основным и практически единственным источником органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в агроценозах. Смена землепользования с естественных угодий в агроэкосистему приводит к значительному сокращению поступающих в почву органических остатков и, как показывают некоторые исследования, ведет к снижению содержания гумуса (Еремин и Демин, 2023). Это происходит по причине того, что на фоне дефицита растительных остатков и повышения аэрации в результате механических обработок почвы минерализации начинают подвергаться не только вновь поступившие органические остатки растений, но и стабильные гумусовые вещества почвы.

В связи с этим для оценки динамики изменения баланса углерода и подбора оптимальной структуры севооборота в почвах в зависимости от погодно-климатических условий необходимо определение массы поступающих растительных остатков и содержания в них $C_{\text{орг}}$ при возделывании определенных видов культурных растений.

В посевах зерновых культур на полях остается солома, корневые и пожнивные остатки. В 2023-м умеренно увлажненном году в посевах яровой пшеницы выход побочной продукции составлял около 5 т/га абсолютно сухого вещества, из которых на солому и корне-пожвные остатки приходилось примерно поровну (табл. 1). В более увлажненном 2024 г. масса растительных остатков, оставшаяся в поле, была на 31 % (1,54 т/га) больше значений 2023 года. Увеличение при этом в значительной мере произошло из-за повышения массы корне-пожвных остатков. Стоит отметить, что содержание $C_{\text{орг}}$ в соломе, независимо от погодных условий года и составляет 46,6 % от сухого вещества. Однако концентрация $C_{\text{орг}}$ в корне-пожвных остатках в умеренно увлажненном 2023 г. составляла 41,2 %, а в избыточно увлажненном 2024 г. была на 2,5 % меньше.

В посевах кукурузы на полях в нашем регионе остаются только корне-пожвные остатки, так как в хозяйствах ее используют для получения сочных кормов, а для получения зерна заняты лишь незначительные посевные площади. Под кукурузой в 2023 г. масса корне-по-

жневных остатков была на 1,3 т/га больше, чем под яровой пшеницей, а содержание $C_{\text{орг}}$ в ней достигало 42,3 %. В год с избыточным увлажнением масса корне-пожневных остатков повышалась на 22 % (0,86 т/га), содержание $C_{\text{орг}}$ снижалось на 1,7 %.

Большинство посевов люцерны в Тюменской области используется для заготовки сенажа или сена и лишь незначительная часть посевов используется под семенные цели. В связи с этим на полях под люцерной стабильно остаются лишь корневые и пожвные остатки. Корневая система многолетних трав значительно мощнее, чем у зерновых культур, и она набирает массу на протяжении всего периода использования. В умеренно увлажненном году масса корне-пожвных остатков у люцерны второго года пользования составляла 8,74 т/га, что практически в 1,7 раза больше, чем образовавшиеся растительные остатки в посевах яровой пшеницы, и в 2,2 раза больше, чем под кукурузой. Содержание органического углерода при этом в корне-пожвных остатках люцерны было на 4,3 и 2,2 % больше, чем у пшеницы и кукурузы соответственно. Это связано с особенностью химического состава корне-пожвных остатков бобовых культур, в которых концентрация белковых соединений значительно выше, чем в зерновых (Sukhoveeva, 2022). В избыточно увлажненном 2024 г. масса образовавшихся корне-пожвных остатков у люцерны выросла на 0,5 т/га, и была выше, чем общая масса побочной продукции зерновых культур на 41–91 % (2,7–4,4 т/га). Содержание $C_{\text{орг}}$ в сравнении с прошлым годом снижалась на 1,7 %, несмотря на это, оно было на 3,2–5,1 % больше, чем в зерновых.

В занятом пару производят уборку смеси однолетних трав на зеленую массу в фазу бутонизации бобовых культур, в некоторых случаях уборку проводят в начале колошения овса. Это приводит к тому, что на полях остаются только корневые и пожвные остатки. Несмотря на то что уборку проводят в относительно раннюю фазу, на полях остается достаточно большое количество корневых и пожневных остатков. Это происходит по причине того, в агроэкосистеме образуется межвидовой симбиоз между бобовой и злаковой культурами, а количество растений на единице площади становится больше. В умеренно увлажненном 2023 г. масса корневых и пожвных остатков под занятым паром (однолетними травами) составила 2,46 т/га, что не отличалось от массы корне-пожвных остатков яровой пшеницы. В избыточно увлажненном году масса корне-пожвных остатков увеличилась относительно прошлого года на 26 % и была ниже, чем у яровой пшеницы, на 22 %. Существенное различие в массе корне-пожвных остатков в избыточно увлажненном году может быть связано с тем, что корневая система у яровой пшеницы интенсивно развивалась вплоть до уборки, в то время как однолетние

травы убрали на раннем этапе. Стоит отметить, что $C_{\text{орг}}$ в корне-поживных остатках однолетних трав в 2023 г. составляло 39,3 % сухого ве-

щества и было на 1,9 % меньше, чем у яровой пшеницы. В 2024 г. достоверных различий в содержании Сорг с пшеницей не наблюдалось.

Таблица 1. Масса и содержание $C_{\text{орг}}$ в соломе и корне-поживных остатках (КПО) различных сельскохозяйственных культур
Table 1. Mass and content of $C_{\text{орг}}$ in straw and root-crop residues (RCR) of various agricultural crops

Варианты	Выход побочной продукции, т/га				Содержание $C_{\text{орг}}$, % сухого вещества			
	солома		КПО		солома		КПО	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Яровая пшеница	2,38	2,60	2,65	3,97	46,6	46,6	41,2	38,7
Кукуруза	–	–	3,96	4,82	–	–	42,3	40,6
Люцерна	–	–	8,74	9,24	–	–	45,5	43,8
Занятый пар	–	–	2,46	3,09	–	–	39,3	38,6
НСР ₀₅	–	–	0,30	0,64	–	–	1,2	1,8

Проведенный расчет баланса углерода в почве под яровой пшеницей позволил установить, что в умеренно увлажненный 2023 г. с одного гектара эмиссия углерода составляла практически 2,4 т/га, назад с растительными остатками поступило около 2,2 т/га. Это привело к тому, что образовывался отрицательный баланс, который составлял –0,2 т/га (табл. 2). В избыточно увлажненном 2024 г. потери углерода в результате дыхания почвы достигали за вегетацию на 1,0 т/га больше прошлого года, при этом возврат углерода в почву с соломой и корне-поживными остатками был также на 0,5 т/га выше. Несмотря на это, баланс был отрицательным – 0,6 т/га, что в 3 раза выше прошлого года.

В посевах кукурузы в 2023 и 2024 гг. эмиссия углерода за вегетацию составляла 3,2 и 3,7 т/га, с корне-поживными остатками в почву вернулась 1,7 и 2,0 т/га $C_{\text{орг}}$, что привело к отрицательной динамики углерода в почве, где потери $C_{\text{орг}}$ из почвы достигали 1,5 т/га в умеренно увлажненном и 1,7 т/га в избыточно увлажненном годах.

В посевах люцерны в умеренно увлажненном году потери углерода в результате дыхания почвы достигали 3,8 т/га, в избыточно увлажненном они повышались на 32 % – до 4,6 т/га. Поступление $C_{\text{орг}}$ с корне-поживными остат-

ками при этом было примерно одинаковым – 4,0 т/га в 2023 г. и 4,1 т/га в 2024 году. Это привело к тому, что при умеренном уровне увлажнения отмечался положительный баланс углерода в почве, где на 0,2 т/га повышались его запасы, а в избыточно увлажненном году, наоборот, уменьшались на 0,5 т/га.

В занятом пару в 2023 г. дыхание почвы привело к потере 2,0 т/га $C_{\text{орг}}$, а в 2024 г. этот показатель снижился до 1,6 т/га. Возврат $C_{\text{орг}}$ с корне-поживными остатками составлял при этом 1,0 и 1,2 т/га. Это привело к тому, что в умеренно увлажненном году в занятом пару потери углерода за год достигали 1,0 т/га, а в избыточно увлажненном – 0,4 т/га.

В черном пару была подобная тенденция, где в умеренно увлажненном году отчуждение углерода за год было 1,8 т/га, в избыточно увлажненном – 1,3 т/га. Меньшая интенсивность дыхания в паровых полях, возможно, связана с тем, что в период отсутствия культур на поле избыточные атмосферные осадки способствовали снижению аэрации почвы и уменьшению активности почвенной микробиоты, и, как следствие, ее дыхания, в то время как на занятых под посевами полях поступающая влага хорошо использовалась растениями, что не приводило к негативному влиянию на дыхание почвы.

Таблица 2. Баланс органического углерода при возделывании различных сельскохозяйственных культур и паров, кг/га
Table 2. Organic carbon balance during cultivation of various agricultural crops and fallows, kg/ha

Варианты	Эмиссия углерода за вегетацию		Поступление $C_{\text{орг}}$ с побочной продукцией		Баланс $C_{\text{орг}}$	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Яровая пшеница	2,4	3,4	2,2	2,7	-0,2	-0,6
Кукуруза	3,2	3,7	1,7	2,0	-1,5	-1,7
Люцерна	3,8	4,6	4,0	4,1	0,2	-0,5
Занятый пар	2,0	1,6	1,0	1,2	-1,0	-0,4
Черный пар	1,8	1,3	–	–	-1,8	-1,3

Выводы.

1. В умеренно увлажненном году эмиссия углерода в посевах яровой пшеницы варьировала от 4,0 до 24,1 кг С/га в сутки,

под посевами кукурузы и люцерны значения эмиссии углерода были выше на 2,0–11,7 и 4,5–13,7 кг С/га в сутки соответственно, а в паровых полях были ниже – 1,8–8,2 кг С/га в сутки.

В избыточно увлажненный год эмиссия углерода увеличивалась на 22–143 % в посевах яровой пшеницы, кукурузы и люцерны.

2. В умеренно увлажненный год поступление $C_{орг}$ с растительными остатками в посевах яровой пшеницы составляло 2,2 т/га, под кукурузой и занятым паром – 1,7 и 1,0 т/га соответственно, а под люцерной – 4,0 т/га. В избыточно увлажненный год поступление Сорг с растительными остатками на всех вариантах было на 0,1–0,5 т/га больше.

3. В умеренно увлажненный год баланс углерода под посевами яровой пшеницы и кукурузой

был отрицательным: -0,2 и -1,5 т/га, в паровых полях: -1,0–1,8 т/га. Положительный баланс отмечался лишь в посевах люцерны: +0,2 т/га. В избыточно увлажненный год под посевами яровой пшеницы, кукурузы и люцерны баланс углерода в почве ухудшался, ежегодно потери составляли -0,5–1,7 т/га, тогда как в паровых полях потери углерода из почвы уменьшались до -0,4–1,3 т/га.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005.

Библиографический список

1. Абрамов Н. В., Акимова Ю. А., Бакшеев Л. Г., Белкина Р. И., Иваненко А. С., Игловиков А. В., Кабанин И. Б., Казак А. А., Кулясова О. А., Логинов Ю. П., Миллер С. С., Рзаева В. В., Степанов А. Ф., Тоболова Г. В., Федоткин В. А., Фисунов Н. В., Фуртаев К. В., Якубышина Л. И. Система адаптивно-ландшафтного земледелия в природно-климатических зонах Тюменской области. Тюмень: Тюменский издательский дом, 2019. 472 с.
2. Башкин В. Н. Агрогеохимические технологии управления потоками CO_2 в агроэкосистемах. Факторы управления микробным звеном агрогеохимического круговорота // Агрехимия. 2023. № 6. С. 81–96. DOI: 10.31857/S0002188123060042
3. Еремин Д. И., Демин Е. А. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на запасы органического углерода в черноземе выщелоченном // Земледелие. 2023. № 4. С. 35–39. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-35-39
4. Иванов А. В., Замолотчиков Д. Г., Сало М. А., Кондратова А. В., Пилецкая О. А., Брянин С. В. Дыхание почв лесных экосистем юга Дальнего Востока // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1023–1033. DOI: 10.31857/S0032180X23600397
5. Лаврентьева И. Н., Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л. Оценка запасов органического углерода и потоков CO_2 в травяных экосистемах Западного Забайкалья // Почвоведение. 2017. № 4. С. 411–426. DOI: 10.7868/S0032180X17040050
6. Романенков В. А., Мешалкина Ю. Л., Горбачева А. Ю., Кренке А. Н., Петров И. К., Голозубов О. М., Рухович Д. И. Карты потенциала секвестрации почвенного углерода в пахотных почвах России // Почвоведение. 2024. № 5. С. 677–692. DOI: 10.31857/S0032180X24050037
7. Савельева А. В. Роль продовольственной проблемы в современной мировой экономике // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2013. Т. 17, № 3. С. 524–539.
8. Свирина В. А., Черногаев В. Г. Влияние различных технологий обработки почвы на плодородие почвы, засоренность и урожайность культур в севообороте // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 66–73. DOI: 10.28983/asj.y2023i10pp66-73
9. Соколова Л. Г., Зорина С. Ю., Белоусова Е. Н., Поморцев А. В., Дорофеев Н. В. Эмиссия CO_2 из почвы при введении краткосрочной сидерации в паровое поле в условиях лесостепной зоны Прибайкалья // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1262–1273. DOI: 10.31857/S0032180X21100117
10. Суховеева О. Э., Рыжов А. В., Почикалов А. В., Карелин Д. В., Заверткин И. А., Николаев В. А. Влияние возделываемых культур и удобрений на дыхание почвы (Длительный опыт Тимирязевской сельскохозяйственной академии) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2024. Т. 88, № 4. С. 508–520. DOI: 10.31857/S2587556624040041
11. Эседуллаев С. Т., Шмелева Н. В. Особенности аккумуляции азота многолетними бобовыми травами в чистых и смешанных посевах в Верхневолжье // Плодородие. 2016. № 6(93). С. 16–18.
12. Cannon A. J. Twelve months at 1.5 °C signals earlier than expected breach of Paris Agreement threshold. Nature Climate Change. 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41558-025-02247-8> (дата обращения: 25.02.2025). DOI: 10.1038/s41558-025-02247-8
13. Demichev V., Dashieva B. S., Filatov I. I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development // Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 2024. Vol. 56, № 2. P. 616–627. DOI: 10.54910/sabrao2024.56.2.14
14. Demin E. Production of carbon dioxide in crops of various seedings and fallows in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139, DOI: 10.1051/bioconf/202413913001
15. Eghbal O., Emami H., Reza K. Comparison some physical and chemical characteristics of the soil under cultivation of alfalfa, wheat, barley, cumin and chickpeas. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/386101034> (дата обращения: 25.02.2025).
16. Sukhoveeva O. E. Input of Organic Carbon to Soil with Post-Harvest Crop Residues // Eurasian Soil Science. 2022. № 55. P. 810–818. DOI: 10.1134/S1064229322060126

References

1. Abramov N. V., Akimova Yu. A., Baksheev L. G., Belkina R. I., Ivanenko A. S., Iglvovikov A. V., Kabanin I. B., Kazak A. A., Kulyasova O. A., Loginov Yu. P., Miller S. S., Rzaeva V. V., Stepanov A. F., Tobolova G. V., Fedotkin V. A., Fisuov N. V., Furtaev K. V., Yakubyshina L. I. Sistema adaptivno-landshaftnogo zemledeliya v prirodno-klimaticheskikh zonakh Tyumenskoj oblasti [The system of adaptive-landscape agriculture in the natural-climatic zones of the Tyumen region]. Tyumen': Tyumenskii izdatel'skii dom, 2019. 472 s.

2. Bashkin V. N. Agrogeokhimicheskie tekhnologii upravleniya potokami CO₂ v agroekosistemakh. Faktory upravleniya mikrobnym zvenom agrogeokhimicheskogo krugovorota [Agrogeochemical technologies for managing CO₂ in agroecosystems. Factors for managing the microbial link of the agrogeochemical cycle] // *Agrokimiya*. 2023. № 6. S. 81–96. DOI: 10.31857/S0002188123060042
3. Eremin D. I., Demin E. A. Vliyanie dlitel'nogo sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya na zapasy organicheskogo ugleroda v chernozeme vyshchelochennom [The effect of long-term agricultural use on organic carbon reserves in leached blackearth] // *Zemledelie*. 2023. № 4. S. 35–39. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-35-39
4. Ivanov A. V., Zamolodchikov D. G., Salo M. A., Kondratova A. V., Piletskaya O. A., Bryanin S. V. Dykhanie pochv lesnykh ekosistem yuga Dal'nego Vostoka [Soil respiration in forest ecosystems in the south of the Far East] // *Pochvovedenie*. 2023. № 9. S. 1023–1033. DOI: 10.31857/S0032180X23600397
5. Lavrent'eva I. N., Merkusheva M. G., Ubugunov L. L. Otsenka zapasov organicheskogo ugleroda i potokov SO₂ v travyanykh ekosistemakh Zapadnogo Zabaikal'ya [Estimation of organic carbon reserves and CO₂ in grass ecosystems of Western Transbaikalia] // *Pochvovedenie*. 2017. № 4. S. 411–426. DOI: 10.7868/S0032180X17040050
6. Romanenkov V. A., Meshalkina Yu. L., Gorbacheva A. Yu., Krenke A. N., Petrov I. K., Golozubov O. M., Rukhovich D. I. Karty potentsiala sekvestratsii pochvennogo ugleroda v pakhotnykh pochvakh Rossii [Maps of soil carbon sequestration potential in arable soils of Russia] // *Pochvovedenie*. 2024. № 5. S. 677–692. DOI: 10.31857/S0032180X24050037
7. Savel'eva A. V. Rol' prodovol'stvennoi problemy v sovremennoi mirovoi ekonomike [The role of the food problem in the modern world economy] // *Ekonomicheskii zhurnal Vysheï shkoly ekonomiki*. 2013. T. 17, № 3. S. 524–539.
8. Svirina V. A., Chernogaev V. G. Vliyanie razlichnykh tekhnologii obrabotki pochvy na plodorodie pochvy, zasorennost' i urozhainost' kul'tur v sevooborote [The effect of various soil cultivation technologies on soil fertility, weed infestation and crop productivity in crop rotation] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2023. № 10. S. 66–73. DOI: 10.28983/asj.y2023i10pp66-73
9. Sokolova L. G., Zorina S. Yu., Belousova E. N., Pomortsev A. V., Dorofeev N. V. Emissiya SO₂ iz pochvy pri vvedenii kratkosrochnoi sideratsii v parovoe pole v usloviyakh lesostepnoi zony Pribaikal'ya [CO₂ emission from soil when introducing short-term green manure into a fallow field in the forest-steppe of the Baikal region] // *Pochvovedenie*. 2021. № 10. S. 1262–1273. DOI: 10.31857/S0032180X21100117
10. Sukhoveeva O. E., Ryzhov A. V., Pochikalov A. V., Karelin D. V., Zavertkin I. A., Nikolaev V. A. Vliyanie vozdel'yvaemykh kul'tur i udobrenii na dykhanie pochvy [Dlitel'nyi opyt Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii] [The effect of cultivated crops and fertilizers on soil respiration (Long-term experience of the Timiryazev Agricultural Academy)] // *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2024. T. 88, № 4. S. 508–520. DOI: 10.31857/S2587556624040041
11. Esedullaev S. T., Shmeleva N. V. Osobennosti akumulatsii azota mnogoletnimi bobovymi travami v chistykh i smeshannykh posevakh v Verkhnevolzh'e [Features of nitrogen accumulation by perennial legumes in pure and mixed crops in the Upper Volga region] // *Plodorodie*. 2016. № 6(93). S. 16–18.
12. Cannon A. J. Twelve months at 1.5 °C signals earlier than expected breach of Paris Agreement threshold. *Nature Climate Change*. 2025. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41558-025-02247-8> (data obrashcheniya: 25.02.2025). DOI: 10.1038/s41558-025-02247-8
13. Demichev V., Dashieva B. S., Filatov I. I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2024. Vol. 56, № 2. P. 616–627. DOI: 10.54910/sabrao2024.56.2.14
14. Demin E. Production of carbon dioxide in crops of various seedings and fallows in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia // *BIO Web of Conferences*. 2024. Vol. 139, DOI: 10.1051/bioconf/202413913001
15. Eghbal O., Emami H., Reza K. Comparison some physical and chemical characteristics of the soil under cultivation of alfalfa, wheat, barley, cumin and chickpeas. 2024. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/386101034> (data obrashcheniya: 25.02.2025).
16. Sukhoveeva O. E. Input of Organic Carbon to Soil with Post-Harvest Crop Residues // *Eurasian Soil Science*. 2022. № 55. P. 810–818. DOI: 10.1134/S1064229322060126

Поступила: 05.03.25; доработана после рецензирования: 16.06.25; принята к публикации: 17.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Демин Е. А. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Миллер С. С. – подготовка опыта, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ИЗУЧЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ БАКТЕРИЙ РОДА *BRADYRHIZOBIUM* НА ПОВЕРХНОСТИ ИНОКУЛИРОВАННЫХ СЕМЯН ПРИ ХРАНЕНИИ

Астахов М. М., аспирант, научный сотрудник лаборатории микробиологической защиты растений, astahov.91@inbox.ru. ORCID ID: 0000-0003-3712-1343;

Томашевич Н. С., кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, tom-s2@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0002-7297-5929

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», 350039. г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 62

Инокулянты на основе бактерий рода *Bradyrhizobium* длительное время используются при выращивании сои с целью обеспечения растений азотом и повышения урожайности. При этом инокулянты являются экономически и экологически обоснованной альтернативой азотным минеральным удобрениям. В отличие от них применение инокулянтов позволяет снизить экономические затраты на производство и экологические риски. Однако в сельскохозяйственной практике существует ряд факторов, которые снижают эффективность инокуляции семян, что приводит к нарушению формирования бобово-ризобияльного симбиоза. Одним из таких факторов является снижение количества клубеньковых бактерий на поверхности инокулированных семян к моменту посева. В связи с этим цель исследования – изучить жизнеспособность бактерий рода *Bradyrhizobium*, являющихся действующим веществом применяемых в Российской Федерации жидких инокулянтов, в процессе длительного хранения инокулированных семян. Исследование показало, что после инокуляции количество бактерий *Bradyrhizobium* составило $3,2\text{--}8,0 \times 10^6$ КОЕ/семя в зависимости от применяемого препарата. Через 14 суток хранения семян при $24\text{--}28$ °С количество жизнеспособных клеток составило $4,0 \times 10^4\text{--}1,4 \times 10^6$ КОЕ/семя, после чего началось существенное падение жизнеспособности. Хранение инокулированных семян в течение трех месяцев привело к полному или практически полному снижению численности ризобий и не превышало 82 КОЕ/семя. Исследуемые инокулянты обладали высоким титром $1,0\text{--}4,6 \times 10^{10}$ КОЕ/мл, что превышало показатель, заявленный производителем.

Ключевые слова: *Bradyrhizobium*, инокулянты сои, инокуляция семян, жизнеспособность бактерий.

Для цитирования: Астахов М. М., Томашевич Н. С. Изучение жизнеспособности бактерий рода *Bradyrhizobium* на поверхности инокулированных семян при хранении // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 63–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-63-68.



STUDY OF THE VIABILITY OF BACTERIA OF THE GENUS *BRADYRHIZOBIUM* ON THE SURFACE OF INOCULATED SEEDS DURING STORAGE

M. M. Astakhov, postgraduate, researcher of the laboratory for microbiological protection of plants, astahov.91@inbox.ru. ORCID ID: 0000-0003-3712-1343;

N. S. Tomashevich, Candidate of Agricultural Sciences, deputy director in science, tom-s2@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0002-7297-5929

Federal Research Center of Biological Plant Protection, 350039, Krasnodar, Kalinin Str., 62

Inoculants based on bacteria of the genus *Bradyrhizobium* have long been used in soybean cultivation to provide plants with nitrogen and improve crop productivity. At the same time, inoculants are an economically and environmentally sound alternative to nitrogen mineral fertilizers. In contrast, the use of inoculants allows reducing economic costs of production and environmental risks. However, in agricultural practice, there are several factors that reduce the efficiency of seed inoculation, which disrupts the formation of legume-rhizobium symbiosis. One of these factors is a decrease in the number of nodule bacteria on the surface of inoculated seeds by the sowing time. In this regard, the purpose of the current work was to study the viability of bacteria of the genus *Bradyrhizobium*, which are the active substance of liquid inoculants used in the Russian Federation, during long-term storage of inoculated seeds. The study has shown that after inoculation, the number of *Bradyrhizobium* bacteria was $3.2\text{--}8.0 \times 10^6$ CFU/seed depending on the applied product. After 14 days of seed storage at $24\text{--}28$ °C, the number of viable cells was $4.0 \times 10^4\text{--}1.4 \times 10^6$ CFU/seed, after which there was a significant viability decrease. Storage of inoculated seeds for three months resulted in a complete or almost complete reduction in the number of rhizobia and did not exceed 82 CFU/seed. The studied inoculants had a high titer of $1.0\text{--}4.6 \times 10^{10}$ CFU/ml, which exceeded the indicator declared by the manufacturer.

Keywords: *Bradyrhizobium*, soybean inoculants, seed inoculation, bacterial viability.

Введение. Использование ризобий для инокуляции бобовых культур началось в Австралии более 100 лет назад, и препараты на их основе получили название инокулянты (Mendoza-Suárez et al., 2020). Сначала иноку-

лянты производились на основе инертного носителя, чаще всего торфа, что вызывало сложности с его стерилизацией. Затем началось производство жидких инокулянтов в пластиковых пакетах. Данная форма инокулянтов по-

лучила широкое распространение благодаря своей технологичности, что обеспечивает эффективный газообмен и поддержание высокого титра клубеньковых бактерий на протяжении двух лет (de Souza et al., 2019).

Несмотря на то, что существует несколько способов внесения инокулянтов в агроценоз, наиболее экономически обоснованным и распространенным способом является предпосевная обработка семян, позволяющая достичь высокой численности клубеньковых бактерий непосредственно в зоне ризосферы. Наличие достаточного количества инфекционного штамма ризобий в корневой зоне проростков – важнейший фактор эффективного образования клубеньков у бобовых культур. Однако численность ризобий в данном случае определяется качеством самого инокулянта и процесса инокуляции.

Качество инокулянтов определяется различными факторами, среди которых одним из важнейших является жизнеспособность клубеньковых бактерий после обработки семян. В Австралии контроль качества инокулянтов осуществляется более 50 лет. Австралийская исследовательская группа по инокулянтам (AIRG) установила, что минимальная численность ризобий на семенах сои составляет 10^5 КОЕ/семя (колониеобразующих единиц на одно семя) для эффективного формирования симбиоза. При этом титр жидких инокулянтов должен составлять не менее 5×10^9 КОЕ/мл (Farquharson et al., 2022). В Бразилии, для того чтобы увеличить количество активных клубеньков и урожайность сои, инокуляция семян должна обеспечивать не менее $1,2 \times 10^6$ КОЕ/семя (Hungria et al., 2017).

Высокая численность ризобий при инокуляции семян в Бразилии и Австралии, а также ряде других стран обосновывается тем, что соя выращивается длительное время и в почве содержится множество местных адаптированных штаммов ризобий, эффективность азотфиксации которых незначительна. При этом данные штаммы приспособлены к условиям агроценоза и вступают в конкуренцию с интродуцированными штаммами клубеньковых бактерий, что сводит к минимуму мероприятия по инокуляции семян. Кроме того, ризобии зачастую подвергаются неблагоприятным почвенно-климатическим условиям, которые также снижают их жизнеспособность (Farquharson et al., 2022; Ledermann et al., 2021). В связи с этим высокая численность ризобий на поверхности семян является важнейшим индикатором инокуляции и эффективности данного агроприема.

В рамках нашего исследования изучается влияние задержки с посевом инокулированных семян на численность клубеньковых бактерий. В сельскохозяйственной практике задержка происходит в связи с климатическими условиями, например, когда нет возможности провести посев в переувлажненную почву, что особенно актуально для зоны Дальнего Востока и Центрального региона. Задержки возникают

и в связи с технологическими трудностями, например, при необходимости ремонта сельскохозяйственной техники или при больших площадях высеваемой культуры (Разумова и др., 2016; Сурин и др., 2022). Поэтому для корректировки посевных мероприятий важно понимать численность и жизнеспособность клубеньковых бактерий, находящихся на поверхности инокулированных семян.

Цель исследования – изучить жизнеспособность бактерий рода *Bradyrhizobium*, являющихся действующим веществом применяемых в Российской Федерации жидких инокулянтов, в процессе длительного хранения инокулированных семян.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2024 г. в лаборатории микробиологической защиты растений ФГБНУ ФНЦБЗР с использованием материально-технической базы уникальной научной установки (УНУ) «Технологическая линия для получения микробиологических средств защиты растений нового поколения» (<https://fncbcr.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/>).

Для инокуляции использовали семена сои сорта Вилана с массой тысячи семян 179 г. Вилана – среднеранний индетерминантный сорт, рекомендованный для возделывания в Северо-Кавказском, Нижневолжском и Дальневосточном регионах, который устойчив к почвенным засухам и отзывчив к орошению. Для эксперимента выбраны нестерильные откалиброванные семена одного размера без видимой симптоматики заболеваний и повреждений семенной оболочки.

В исследование выбраны жидкие инокулянты на основе бактерий *Bradyrhizobium*, внесенные в каталог агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: Нитрофикс, Нитрофорс, Оптимаиз 400, Хайкоут Супер Соя, Органит Ризо, а также лабораторный образец инокулянта производства научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма на основе *B. ottawaense* – Ризобин Агро (Государственный каталог..., 2025).

При выборе прилипателей (экстендеров) мы руководствовались рекомендациями производителей инокулянтов, которые предлагают данные препараты для повышения жизнеспособности клубеньковых бактерий на поверхности семян. В случае инокулянтов Оптимаиз 400 и Хайкоут Супер Соя использовались прилипатели из комплекта с инокулянтами, в случае Нитрофикс и Нитрофорс – препарат Адьюгрейн (ПАВ), в случае препарата Органит Ризо и лабораторного образца Ризобин Агро – без прилипателя.

Инокулянты и прилипатели отбирали из герметичной заводской упаковки. Титр инокулянтов оценивали методом серийных разведений, где 0,1 мл инокулянта наносили на чашку и равномерно распределяли жидкость по поверхности шпателем (Нетрусов, 2005). Культивирование проводили

при 28 °С на плотном маннитно-дрожжевом агаре с добавлением Конго красного в концентрации 0,025 г/л для дифференциации колоний клубеньковых бактерий от колоний посторонних бактерий (Gitonga et al., 2021). Поверхностный рост бактерий оценивали на 10-е сутки.

Для инокуляции семян готовили рабочие растворы препаратов в стерильной дистиллированной воде. Нормы применения инокулянтов и прилипателей и концентрация рабочей жидкости соответствовали нормам, рекомендованным производителями инокулянтов для предпосевной обработки семян сои. Инокуляцию семян проводили ручным способом, а инокулированные семена перед закладкой на хранение просушивали на воздухе 24 часа. Семена помещали на хранение в стерильные бумажные крафт-пакеты, заворачивали и закрывали зажимами. Пакеты хранили в темноте при температуре 24–28 °С.

Количество жизнеспособных ризобий на поверхности инокулированных семян определяли стандартным методом смыва с поверхности. Стерильным пинцетом отбирали по 10 семян и помещали в колбу со 100 мл стерильной дистиллированной воды. Перемешивали в шей-

кере-инкубаторе при 180 об./мин в течение 20 мин. Титр полученных суспензий определяли методом серийных разведений на маннитно-дрожжевом агаре аналогично титру инокулянтов (Лактионов и др., 2018).

Повторность опытов трехкратная. Контроль – питательная среда без нанесения микроорганизмов. Количество жизнеспособных бактерий переводили в десятичные логарифмы. Статистический анализ данных проводили методом дисперсионного анализа (ANOVA) с применением критерия Дункана ($p < 0,05$) в программе Statistica Version 13.5.0.17. Графическое представление результатов с указанием погрешностей и доверительных интервалов выполнено в Microsoft Excel 2016.

Результаты и их обсуждение. Для того чтобы убедиться в соответствии препаратов заявленным техническим характеристикам, был определен их первоначальный титр. Исследование показало, что все инокулянты не были загрязнены посторонними микроорганизмами, а титр бактерий *Bradyrhizobium* составлял от $1,0\text{--}4,6 \times 10^{10}$ КОЕ/мл (колониеобразующих единиц на миллилитр), что соответствовало или было выше показателя, заявленного производителем (рис. 1).

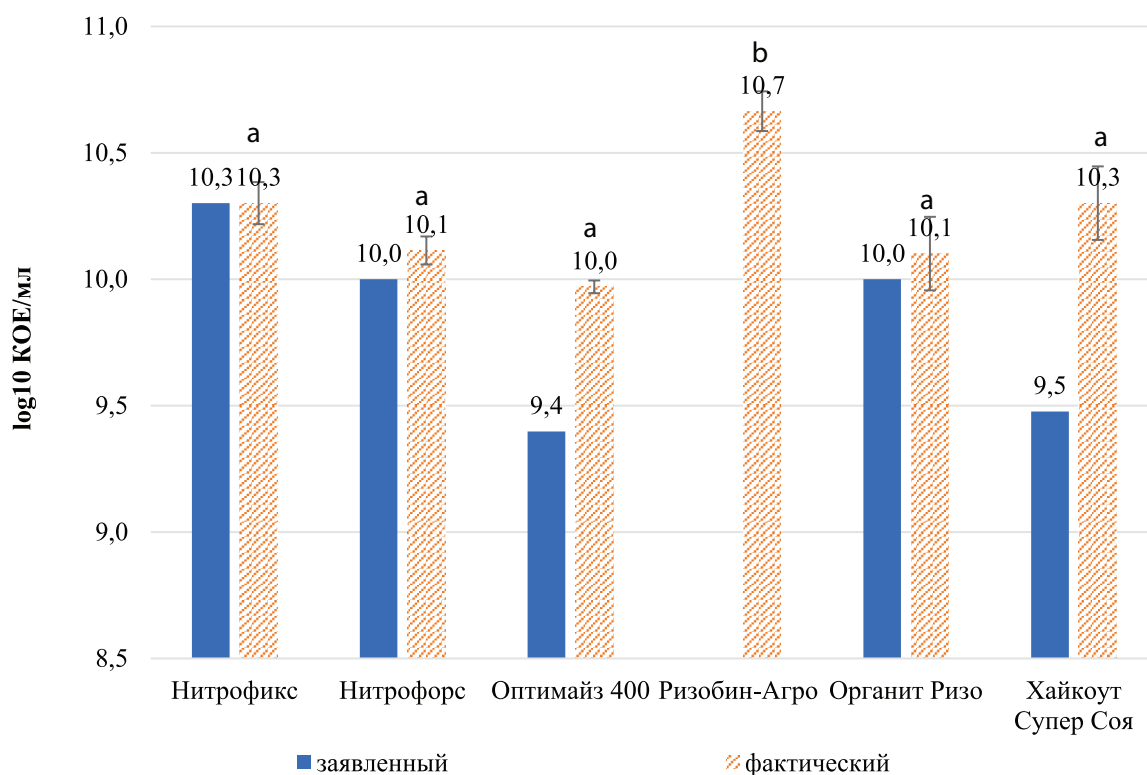


Рис. 1. Титр бактерий рода *Bradyrhizobium* в составе инокулянтов
Fig. 1. Titer of *Bradyrhizobium* bacteria in the composition of inoculants

В данном исследовании мы изучали влияние осмотического стресса на клетки клубеньковых бактерий, возникающего при хранении инокулированных семян при комнатной темпе-

ратуре. Исследование показало, что активные штаммы рода *Bradyrhizobium* в составе инокулянтов обладают различной устойчивостью клеток. Спустя сутки после инокуляции коли-

чество жизнеспособных ризобий на поверхности семян составило от $3,2-8,0 \times 10^6$ КОЕ/семя. Статистически достоверное максимальное количество клеток отмечено в варианте Ризобин-

Агро, что согласуется с тем, что данный препарат обладал изначально наиболее высоким титром (рис. 2).

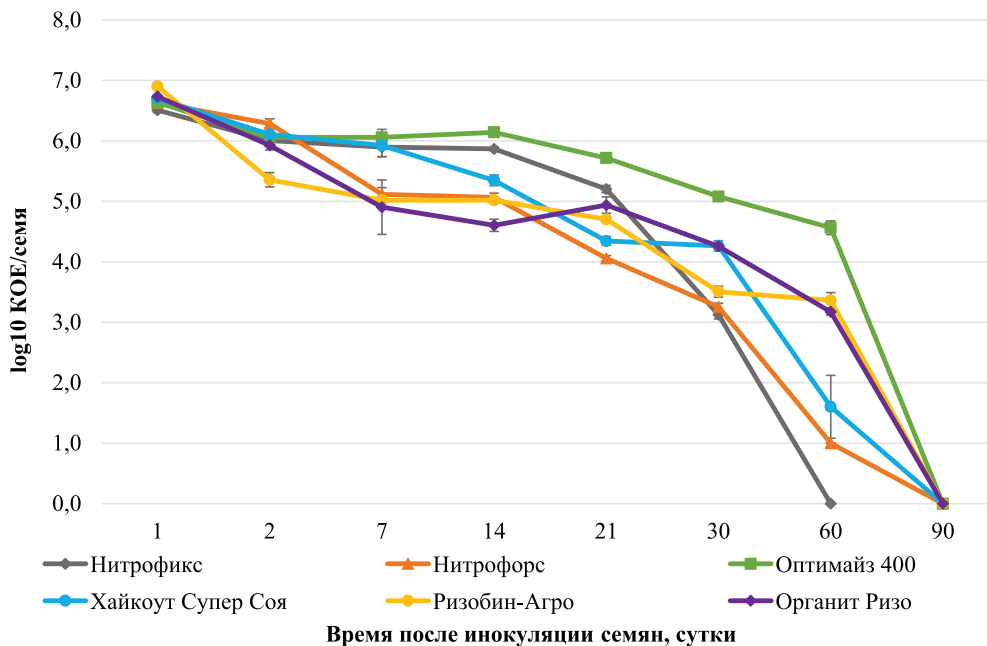


Рис. 2. Жизнеспособность бактерий рода *Bradyrhizobium* на поверхности инокулированных семян сои в процессе хранения

Fig. 2. Viability of *Bradyrhizobium* bacteria on the surface of inoculated soybean seeds during storage

Несмотря на то, что инокулянт Органит Ризо и лабораторный образец Ризобин-Агро наносились на семена без прилипателя, данные варианты показали достаточно высокую жизнеспособность клеток, что может указывать на осмотическую устойчивость данных коммерческих штаммов либо присутствие в культуральной жидкости осмопротекторов.

Хранение инокулированных семян при комнатной температуре без доступа света оказывало негативное влияние на жизнеспособность клубеньковых бактерий. Спустя семь суток хранения количество ризобий на семенах в вариантах Органит Ризо, Нитрофорс и Ризобин-Агро составляло около 10^5 КОЕ/семя. Существенное падение численности происходило после 21 суток хранения. Хранение семян в течение 60 суток привело к резкому снижению численности клубеньковых бактерий. По прошествии трех месяцев бактерии рода *Bradyrhizobium* во всех вариантах либо полностью погибли, либо их численность существенно снизилась и не превышала 82 КОЕ/семя.

Максимальная стабильность клеток и устойчивость к высыханию отмечена в варианте Оптимайз 400, где спустя 30 суток титр составил $1,2 \times 10^5$ КОЕ/семя, 60 суток – $3,6 \times 10^4$ КОЕ/семя.

Выводы. Инокулянты сои на основе бактерий *Bradyrhizobium* обладали высоким титром – более 10^{10} КОЕ/мл, что превышало титр, заявленный производителем, подтвердив высокое качество препаратов. Штаммы клубеньковых бактерий обладали различной устойчивостью к осмотическому стрессу в зависимости от препарата. Сразу после инокуляции количество клубеньковых бактерий, закрепившихся на семенах, составило $3,2-8,0 \times 10^6$ КОЕ/семя. Спустя 14 суток титр смывов с поверхности семян составил $4,0 \times 10^4-1,4 \times 10^6$ КОЕ/семя, и началось падение жизнеспособности клеток. К 21 суткам хранения инокулированных семян титр составил $2,2 \times 10^4-5,2 \times 10^5$ КОЕ/семя. Хранение инокулированных семян в течение трех месяцев полностью или существенно снижает количество жизнеспособных бактерий рода *Bradyrhizobium* на поверхности семян, способных вступить в симбиоз с соей. Штамм *B. japonicum* 61A273 в составе препарата Оптимайз 400 проявил максимальную жизнеспособность – спустя 60 суток отмечен титр $3,7 \times 10^4$ КОЕ/семя.

Финансирование. Исследования выполнены согласно государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2025-0003.

Библиографический список

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М., 2025.
2. Лактионов Ю. В., Косульников Ю. В., Дудникова Д. В. Влияние водорастворимых полимеров на выживаемость клубеньковых бактерий люпина (*Rhizobium lupini*) // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3(57). С. 17–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-22-26
3. Нетрусов А. И. Практикум по микробиологии: учеб. пособие. М.: Академия, 2005. 608 с.
4. Разумова Н. В., Разумов В. В., Молчанов Э. Н. Переувлажнение и подтопление почв и земель в Центральном регионе России // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2016. № 82. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-3-27
5. Сурин Р. О., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Сравнительный анализ способов агрегатирования комбинированных машин с полурамным трактором // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3(95). С. 177–182.
6. de Souza G. K., Sampaio J., Longoni L., Ferreira S., Alvarenga S., Beneduzi A. Soybean inoculants in Brazil: an overview of quality control // Brazilian Journal of Microbiology. 2019. Vol. 50, Iss. 1. P. 205–211. DOI: 10.1007/s42770-018-0028-z
7. Farquharson E. A., Ballard R. A., Herridge D. F., Ryder M. H., Denton M. D., Webster A., Yates R. J., Seymour N. P., Deaker R. J., Hartley E., Gemmel L. G., Hackney B., O'Hara G. W. Inoculating Legumes: Practice and Grains Research and Development Corporation, Science. 2022. Australia.
8. Gitonga N. M., Njeru E. M., Cheruiyot R., Maingi J. M. Genetic and Morphological Diversity of Indigenous *Bradyrhizobium* Nodulating Soybean in Organic and Conventional Family Farming Systems // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 4, Article number: 606618. DOI: 10.3389/fsufs.2020.606618
9. Hungria M., Araujo R. S., Silva-Junior E. B., Zilli J. E. Inoculum rate effects on the soybean symbiosis in new or old fields under tropical conditions // Agronomy Journal. 2017. Vol. 109, № 3. P. 1–7. DOI: 10.2134/agronj2016.11.0641
10. Ledermann R., Schulte C. C. M., Poole P. S. How Rhizobia Adapt to the Nodule Environment // Journal of Bacteriology. 2021. Vol. 203, № 12, Article number. e00539-20. DOI: 10.1128/jb.00539-20
11. Mendoza-Suárez M. A., Geddes B. A., Sánchez-Cañizares C., Ramírez-González R. H., Kirchhelle C., Jorrián B., Poole P. S. Optimizing *Rhizobium*-legume symbioses by simultaneous measurement of rhizobial competitiveness and N₂ fixation in nodules // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Article number: 201921225. DOI: 10.1073/pnas.1921225117

References

1. Gosudarstvennyi katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii [State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the Russian Federation]. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Rossiiskoi Federatsii. M., 2025.
2. Laktionov Yu. V., Kosul'nikov Yu. V., Dudnikova D. V. Vliyanie vodorastvorimyykh polimerov na vyzhivaemost' kluben'kovykh bakterii lyupina (*Rhizobium lupini*) [The effect of water-soluble polymers on the survival of lupine nodule bacteria (*Rhizobium lupini*)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 3(57). S. 17–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-22-26
3. Netrusov, A. I. Praktikum po mikrobiologii: ucheb. posobie [Microbiology workshop: textbook]. M.: Akademiya, 2005. 608s.
4. Razumova N. V., Razumov V. V., Molchanov E. N. Pereuvlazhnenie i podtoplenie pochv i zemel' v Tsentral'nom regione Rossii [Waterlogging and flooding of soils and lands in the Central region of Russia] // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2016. № 82. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-3-27
5. Surin R. O., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Sravnitel'nyi analiz sposobov agregirovaniya kombinirovannykh mashin s poluramnym traktorom [Comparative analysis of aggregating methods of combines with a semi-frame tractor] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 3(95). S. 177–182.
6. de Souza G. K., Sampaio J., Longoni L., Ferreira S., Alvarenga S., Beneduzi A. Soybean inoculants in Brazil: an overview of quality control // Brazilian Journal of Microbiology. 2019. Vol. 50, Iss. 1. P. 205–211. DOI: 10.1007/s42770-018-0028-z
7. Farquharson E. A., Ballard R. A., Herridge D. F., Ryder M. H., Denton M. D., Webster A., Yates R. J., Seymour N. P., Deaker R. J., Hartley E., Gemmel L. G., Hackney B., O'Hara G. W. Inoculating Legumes: Practice and Grains Research and Development Corporation, Science. 2022. Australia.
8. Gitonga N. M., Njeru E. M., Cheruiyot R., Maingi J. M. Genetic and Morphological Diversity of Indigenous *Bradyrhizobium* Nodulating Soybean in Organic and Conventional Family Farming Systems // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 4, Article number: 606618. DOI: 10.3389/fsufs.2020.606618
9. Hungria M., Araujo R. S., Silva-Junior E. B., Zilli J. E. Inoculum rate effects on the soybean symbiosis in new or old fields under tropical conditions // Agronomy Journal. 2017. Vol. 109, № 3. P. 1–7. DOI: 10.2134/agronj2016.11.0641
10. Ledermann R., Schulte C. C. M., Poole P. S. How Rhizobia Adapt to the Nodule Environment // Journal of Bacteriology. 2021. Vol. 203, № 12, Article number. e00539-20. DOI: 10.1128/jb.00539-20
11. Mendoza-Suárez M. A., Geddes B. A., Sánchez-Cañizares C., Ramírez-González R. H., Kirchhelle C., Jorrián B., Poole P. S. Optimizing *Rhizobium*-legume symbioses by simultaneous measurement of rhizobial competitiveness and N₂ fixation in nodules // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Article number: 201921225. DOI: 10.1073/pnas.1921225117

Поступила: 26.03.25; доработана после рецензирования: 14.06.25; принята к публикации: 16.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Астахов М. М. – проведение лабораторных опытов, сбор, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Томашевич Н. С. – концептуализация исследований, редактирование рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ОВСА ПОСЕВНОГО В УСЛОВИЯХ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Л. В. Бессонова, научный сотрудник лаборатории агротехнологий, 888bessonova@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-4433-8973;

Р. И. Вяткина, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, 777vyatkina@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-1163-0548;

В. В. Валиев, заместитель директора по производству, vasim21@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-6195-3142

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал

Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения

Российской академии наук, 614000, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а; e-mail: pniish@rambler.ru

В статье представлены трехлетние результаты (2021–2023 гг.) экологического испытания 32 сортов овса селекции ФАНЦ Северо-Востока, Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН, Красноуфимского селекционного центра – филиала УрФАНИЦ УрО РАН в почвенно-климатических условиях Пермского края. Цель исследований – определить экологическую пластичность новых сортов и линий овса, сочетающих высокий потенциал продуктивности с качеством зерна и адаптивных к почвенно-климатическим условиям Пермского края. Почва опытного участка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая окультуренная. Урожайность овса в 2021–2023 гг. варьировала в пределах 2,21–4,77 т/га у пленчатых сортов и 1,29–3,37 т/га у голозерных сортов. Урожайность зерна сортов овса имела сильную положительную корреляционную связь ($r = 0,98$ $p < 0,05$) с показателем ГТК. Значение признака «масса 1000 зерен» в зависимости от года варьировало от 23,1 до 39,2 г. Крупное зерно формировали сорта Стайер, Азиль, Грива. Большое количество зерен в метелке (44,2–37,5 шт.) формируют сорта Кировский 2, 98-35, 485/16, 168/20, 113/20, 89-15, 9h18. Максимальный показатель продуктивности метелки среди пленчатых сортов – 1,55 г – отмечен у сорта 98-35; у голозерных – 0,82 г у 9h18, 1,03 г у 89-15. В среднем за 3 года выделились сорта 98-35, 485/16, 168/20, 57h2396. Показатель натурной массы зерна в зависимости от года исследований варьировал от 400 до 662 г/л. В 2021–2023 гг. получены семена с всхожестью 82–99 %, полученные семена были кондиционные по чистоте, влажности, зараженности болезнями и вредителями, не содержали семян культурных и сорных растений. Высокий уровень рентабельности (53–54 %) обеспечили пленчатые сорта Стайер, Блиц, Кировский, 07-57, 23h20; 41–42 % – голозерные 89–15, Грива, 17h18, 225h14.

Ключевые слова: овес, сорт, урожайность, масса 1000 зерен, продуктивность метелки, количество зерен в метелке.

Для цитирования: Бессонова Л. В., Вяткина Р. И., Валиев В. В. Агроэкологическая оценка сортов овса посевного в условиях Пермского края // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-69-76.



AGROECOLOGICAL ASSESMENT OF OAT VARIETIES IN PERM REGION

L. V. Bessonova, researcher of the laboratory for agrotechnologies, 888bessonova@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-4433-8973;

R. I. Vyatkina, senior researcher of the laboratory for agrotechnologies, 777vyatkina@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-1163-0548;

V. V. Valiev, deputy director in production, vasim21@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-6195-3142

Perm Research Institute of Agriculture, Perm Federal Research Center

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

614000, Perm, Lenin Str., 13A; e-mail: pniish@rambler.ru

The article presents the three-year results (2021–2023) of environmental testing of 32 oat varieties bred by the FARC of the North-East, the Ulyanovsk RIA, a branch of the SamRC of the RAS, and the Krasnoufimsk Breeding Center, a branch of the Ural FARCUB of the RAS in the soil and climatic conditions of the Perm Territory. The purpose of the current study was to determine the ecological adaptability of new oat varieties and lines that combine high productivity potential with grain quality and are adaptive to the soil and climatic conditions of the Perm Territory. The soil of the experimental plot was cultivated sod-podzolic heavy loamy. The oat productivity varied within 2.21–4.77 t/ha of hulled varieties and 1.29–3.37 t/ha of hullless varieties in 2021–2023. The grain productivity of oat varieties had a strong positive correlation ($r = 0.98$ $p < 0.05$) with the HThC indicator. The value of 1000-grain weight trait varied from 23.1 to 39.2 g depending on the year. Large grain was formed by the varieties 'Steyer', 'Azil', and 'Griva'. A large number of grain per panicle (44.2–37.5 pcs.) was formed by the varieties 'Kirovsky 2', '98-35', '485/16', '168/20', '113/20', '89-15', '9h18'. The maximum panicle productivity among hulled varieties (1.55 g) was identified in the variety '98-35'; among hullless varieties it was 0.82–1.03 g given by the varieties '89-15', '9h18'. On average, over 3 years, the varieties '98-35', '485/16', '168/20', '57h2396' turned to be the best ones. The grain nature weight indicator varied from 400 to 662 g/l depending on the year of study. In 2021–2023 there were obtained seeds with a germination rate of 82–99 %. The obtained seeds were of good quality in terms of purity, moisture content, disease and pest infestation, and did not contain seeds of cultivated and weed plants. A high level of profitability of 53–54 % was provided by

the hulled varieties 'Steyer', 'Blitz', 'Kirovsky', '07-57', '23h20'; 41–42 % was provide by the hullless varieties '89-15', 'Griva', '17h18', '225h14'.

Keywords: oats, variety, productivity, 1000-grain weight, panicle productivity, number of grains per panicle.

Введение. Важнейшим условием получения стабильных и устойчивых урожаев является создание и внедрение в производство сортов, обладающих высоким потенциалом хозяйственно ценных признаков. В каждой почвенно-климатической зоне должен быть свой набор адаптивных сортов с большей агроэкологической адресностью и экологической устойчивостью. Использование сортов сельскохозяйственных культур предполагает их избирательность, учитывая максимальное проявление их генотипа в конкретных почвенно-климатических условиях (Баталова и Лисицын, 2024). В последние годы отмечается адаптивная ориентация целей селекции, что требует оценки на этапе селекционной проработки и экологической пластичности перспективных форм и линий. Создание сортов с высокой урожайностью и ее стабильностью на фоне неустойчивых погодных условий по годам – одно из основных направлений современной селекции растений.

В современных условиях сорт представляется тем фактором, без которого невозможен научно-технический прогресс в агропромышленном комплексе и без которого невозможно достичь оперативного развития производства и экономической стабильности сельскохозяйственных предприятий (Баталова и Лисицын, 2024). Поэтому для выполнения одного из важнейших условий селекционного процесса – необходимости увеличения разнообразия селекционного материала в экологических испытаниях и ведется работа в Пермском НИИСХ. К сортам ярового овса предъявляются особо жесткие требования. Наряду с высокой продуктивностью, устойчивостью к полеганию, болезням и вредителям, они должны отмечаться высокой стабильностью, то есть давать высокий урожай в благоприятные годы и резко не снижать его в засушливые.

Предпринимая попытку разработать экологическую модель сорта овса для условий Предуралья и оценить его поведение на разных этапах онтогенеза в неодинаковых природных условиях, с 2021 по 2023 гг. в Пермском НИИСХ проводили изучение новых сортов овса селекции ФАНЦ Северо-Востока, Ульяновского НИИСХ, УрФАНИЦУрО РАН (Красноуфимского селекционного центра) в почвенно-климатических условиях Пермского края.

Цель исследований – определить экологическую пластичность новых сортов и линий овса, сочетающих высокий потенциал продуктивности с качеством зерна и адаптивных к почвенно-климатическим условиям Пермского края.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили на опытном поле Пермского НИИСХ в 2021–2023 годах. В опыте изучали 32 сорта овса. Почва опытного участ-

ка дерново-подзолистая тяжелосуглинистая со следующими агрохимическими показателями: органический углерод – 1,41–1,64 %, pH_{KCl} – 5,6–5,9, N – 1,42–2,94, S – 22,1–24,6 ммоль/100 г, V – 89–94 %, подвижный P_{2O_5} – 175–202 мг/кг, подвижный K_2O – 160–169 мг/кг почвы.

Агротехника в опыте – общепринятая для Пермского края. Предшественники – озимая рожь, клевер, ячмень. Под предпосевную культивацию вносили удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ кг д.в./га, формы удобрений – аммиачная селитра, аммофос, хлористый калий. Размещение делянок последовательное, повторность 4-кратная. Общая площадь делянки 33,6 м², учетная – 25 м². Норма высева овса – 7 млн всхожих семян/га. Стандарт у пленчатых сортов – Стайер; у голозерных – Першерон. Посев проводили 27 апреля – 4 мая сеялкой СС-11; уборку – комбайном SampoSR-2010 16 августа – 16 сентября однофазным способом в конце восковой спелости. Урожайность при уборке пересчитывали на 100 %-ю чистоту и 14 %-ю влажность. Опыты закладывали в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания (1985). Статистическую обработку данных проводили согласно методике Б. А. Доспехова (2014).

Урожайность сортов овса обусловлена индивидуальной реакцией на действие погодных условий и технологические приемы выращивания. Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований складывались контрастно как по температуре воздуха, так и по сумме выпавших осадков. В 2021 г. в период «всходы – выметывание» (40 дней) сложился оптимальный температурный режим – от 17,7 до 21,0 °С, но с недостаточным увлажнением – 30,0 мм. В период «выметывание – созревание» (42 дня) овса наблюдали избыточное увлажнение – 169,0 мм (205,8 %), среднесуточная температура была выше на 1,3 °С относительно средней многолетней.

Период вегетации 2022 г. характеризовался неблагоприятным сочетанием климатических факторов, в первую очередь, влажной и холодной погодой в мае и июне, а в период цветения овса – сухой и аномально жаркой. Во второй декаде июля установилась жаркая сухая погода, которая ускорила наступление фазы восковой спелости зерна из-за уменьшения периода вегетации «выметывание – созревание» до 37 дней (Кардашина и Николаева, 2020; Кардашина и др., 2023).

Вегетационный период 2023 г. был умеренно теплым и очень сухим. Главной его особенностью стала засуха, которая началась еще в апреле. Засуха была самой продолжительной за всю историю наблюдений в Пермском крае. В период «всходы – выметывание» выпало 25 % от нормы осадков, в период «выметывание – созревание» – 65 %. Лето было самым контраст-

ным по температуре воздуха, разность минимальной и максимальной температуры могла достигать почти 30 °С.

Гидротермический коэффициент в годы исследований за вегетационный период со-

ответствовал показателям 0,75–0,88 (табл. 1). Урожайность зерна сортов овса имела сильную положительную корреляционную связь ($r = 0,98p - 0,05$) с показателем ГТК.

Таблица 1. Периоды вегетации овса в 2021–2023 годах
Table 1. Vegetation periods of oats in 2021–2023

Показатель	2021	2022	2023
Всходы – созревание, дней	82	90	85
Всходы – выметывание, дней	40	53	43
Выметывание – созревание, дней	42	37	42
ГТК	0,80	0,88	0,75

Результаты и их обсуждение. Урожайность всех сортов овса в 2021–2023 гг. находилась в пределах 2,21–4,77 т/га по пленчатым

сортам, 1,29–3,37 т/га – по голозерным сортам (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность сортов овса, т/га (2021–2023 гг.)
Table 2. Productivity of oat varieties, t/ha (2021–2023)

Сорт	2021	2022	2023	Среднее	Отклонение, ±
Пленчатые сорта					
Стайер, st	2,47	4,73	4,36	3,85	–
Спринт 2	2,38	4,18	4,57	3,71	-0,14
Блиц	2,57	4,50	4,38	3,82	-0,03
Кировский 2	2,56	4,53	4,23	3,77	-0,08
98-35	2,21	4,28	4,77	3,75	-0,1
07-57	2,44	4,48	4,55	3,82	-0,03
08-09	2,49	3,81	4,47	3,59	-0,26
08-86	2,73	3,92	3,91	3,52	-0,33
P-95-160	2,59	3,26	4,09	3,31	-0,54
11-161	2,33	3,00	3,65	2,99	-0,86
162h15	2,83	3,57	4,23	3,54	-0,31
91h18	2,45	4,38	4,20	3,67	-0,18
485/16	–	3,42	4,14	3,78	-0,76
168/20	–	3,85	4,70	4,28	-0,26
237/20	–	3,39	4,73	4,06	-0,48
230/20	–	4,23	4,27	4,25	-0,29
159/20	–	3,61	4,66	4,14	-0,41
342/20	–	3,89	4,54	4,21	-0,33
113/20	–	3,59	4,76	4,17	-0,37
236/19	–	3,94	4,60	4,27	-0,27
257/19	–	3,64	4,69	4,16	-0,38
117/20	–	4,07	4,53	4,30	-0,24
102/20	–	3,72	4,32	4,02	-0,52
537/15	–	3,72	4,29	4,00	-0,54
Среднее по году	2,5	3,90	4,38	3,89	–
НСР ₀₅	0,15	0,33	0,26	0,24	–
Голозерные сорта					
Першерон, st	1,29	3,06	2,32	2,23	–
Азиль	1,53	2,97	2,64	2,38	+0,15
Грива	1,68	3,19	2,98	2,61	+0,38
57h2396	1,62	3,36	2,60	2,52	+0,29
89-15	1,57	3,37	3,16	2,70	+0,47
9h18	1,64	2,99	2,63	2,42	+0,19
17h18	1,80	3,38	2,71	2,63	+0,40
159h14	1,60	3,02	2,89	2,50	+0,27
Среднее по году	1,59	3,16	2,71	2,51	–
НСР ₀₅	0,11	0,31	0,26	0,22	–

В 2021 г. урожайность культуры варьировала от 2,21 до 2,83 т/га по пленчатым сортам, от 1,29 до 1,80 т/га – по голозерным сортам. Из 12 испытываемых пленчатых сортов овса максимальная урожайность 2,83 т/га отмечена у сорта 162h15. Сорта Спринт 2, Кировский 2, 91h18, 07-57, 08-09, Р-95-160, 11-161, Блиц сформировали урожай на уровне стандарта, по сорту 98-35 отмечено достоверное уменьшение, по сорту 08-86 – достоверная прибавка урожайности. Все голозерные сорта сформировали урожай достоверно выше стандарта – сорта Першерон.

Урожайность всех сортов в 2022 г. находилась в пределах 3,0–4,73 т/га по пленчатым сортам, 2,97–3,38 т/га – по голозерным сортам. Из 24 испытываемых пленчатых сортов овса максимальная урожайность 4,73 т/га отмечена у стандарта – Стайер. Сорта Блиц, Кировский 2, 07-57 сформировали урожай на уровне стандарта, по остальным сортам отмечено уменьшение урожайности. Сорт голозерного овса 17h18 сформировал урожай достоверно выше стандарта – сорта Першерон.

В условиях 2023 г. максимальная урожайность 4,77 т/га отмечена у сорта 98-35. Сорта Блиц, Кировский 2, 07-57 сформировали урожай на уровне стандарта, по остальным сортам отмечено уменьшение урожайности. Все сорта голозерного овса сформировали урожай достоверно выше стандарта – сорта Першерон. Наибольшая урожайность среди голозерных сортов получена у сорта 89-15 (урожайность – 3,16 т/га при урожае стандарта Першерон 2,32 т/га, НСР₀₅ – 0,26 т/га).

У пленчатых сортов в среднем за 3 года испытаний (2021–2023 гг.) самым урожайным был стандартный сорт Стайер – 3,85 т/га, он был лидером по урожайности в 2022 году. Также выделяются сорта Блиц, Кировский 2, 98-35, 117/20, 23h20. У голозерных сортов в среднем за 3 года сорт 89-15 лидирует по урожайности и имеет достоверную прибавку 0,47 т/га.

Для сортов овса один из важнейших показателей – продолжительность вегетационного периода. В климатических условиях Пермского края особый интерес представляют сорта, обладающие скороспелостью, так как погодные условия не всегда позволяют реализовать продуктивный потенциал среднепоздних и поздних сортов. Длина вегетационного периода определяется генетическими особенностями сорта и зависит от метеорологических условий года (Баталова, 2016; Иванова и др., 2017; Сотник и Лоскутов, 2020).

Продолжительность вегетационного периода зависела от влагообеспеченности и температурного режима. Наиболее продолжительным был период вегетации в 2022 году. В 2021 г. сорта созрели за 81–85 дней, в 2022 г. – за 89–92 дня; в 2023 г. – за 82–87 дней. Самые скороспелые пленчатые сорта – Стайер, Спринт 2. Самые скороспелые голозерные сорта 161h14,

9h18, 17h18 созревают на 1–2 дня раньше стандартного сорта Першерон.

Крупность зерна – один из важнейших показателей, определяющих семенную и продовольственную значимость сорта. В условиях производства предпочтение отдается сортам с крупным или среднекрупным зерном (Тулякова и др., 2021).

Масса 1000 зерен является важным качественным показателем сорта, он определяет запас питательных веществ, всхожесть и жизнеспособность семян, пищевые и кормовые достоинства (Кротова и Баталова, 2021). Показатель массы 1000 зерен характеризует крупность зерна и его плотность: чем крупнее зерно и более плотно выполнено, тем больше его масса. На показатель «масса 1000 зерен» сильно влияют погодные условия, это самый стабильный признак в структуре урожая, зависящий от метеорологических условий в период налива зерна (Тулякова и др., 2024). Масса 1000 зерен варьировала в зависимости от года от 29,3 до 39,2 г у пленчатых сортов и от 23,1 до 30,1 – у голозерных (табл. 3). Наиболее крупное зерно формировал сорт Стайер – 39,2 г. Все изучаемые голозерные сорта относятся к высокой группе крупности зерна. Корреляционный анализ выявил наличие сильной положительной связи показателя ГТК с массой 1000 зерен ($r = 0,94-0,98p-0,05$).

Количество зерен в метелке – один из основных элементов структуры урожая. Озерненность метелки – сильно варьирующий признак (Баталова и Лисицын, 2024; Баталова и др., 2016). Урожайность зерна овса зависит от продуктивности метелки, которая обусловлена числом и крупностью зерен. Максимальное количество зерен в метелке сформировалось в 2023 г. (среднее по году – 36,2 шт.) (табл. 3). Самое большое количество зерен сформировал в 2022 г. пленчатый сорт Кировский 2 (44,2 шт.), лидером у голозерных сортов был сорт 89-15 (37,5 шт.). Большое количество зерен формируют сорта 98-35, 485/16, 168/20, 113/20, 9h18, 236/19, 257/19 (у этих сортов в среднем за годы исследований – 38,0 шт.). Корреляционный анализ выявил наличие сильной положительной связи показателя ГТК с количеством зерен в метелке ($r = 0,97-0,98p-0,05$). Продуктивность метелки – один из основных элементов структуры урожая. Лучшие условия для формирования продуктивной метелки сложились в 2022 и 2023 годах (табл. 3). Максимальная продуктивность метелки среди пленчатых сортов – 1,55 г отмечена у сорта 98-35 в 2022 г., у голозерных сортов выделились 89-15, 9h18 (0,82–1,03 г). В среднем за 3 года выделились сорта 98-35, 485/16, 168/20, 57h2396, 89-15, 9h18. Корреляционный анализ выявил наличие сильной положительной связи показателя ГТК с массой зерна метелки ($r = 0,95-0,97p-0,05$).

Таблица 3. Основные хозяйственно ценные признаки сортов овса, г (2021–2023 гг.)
Table 3. Main economically valuable traits of oat varieties, g (2021–2023)

Сорт	Масса 1000 зерен, г			Количество зерен в метелке, шт.			Масса зерна метелки, г					
	2021	2022	2023	Среднее*	2021	2022	2023	Среднее*	2021	2022	2023	Среднее*
	Пленчатые сорта											
Стайер, st	37,8	39,2	33,9	36,9±3,1	16,7	27,9	36,5	27,0±11,2	0,63	1,10	1,24	0,99±0,36
Спринт 2	35,9	35,4	33,7	35,0±1,3	10,3	28,2	37,1	25,2±15,4	0,61	1,00	1,25	0,95±0,36
Блиц	32,0	31,1	29,3	30,8±1,6	20,0	36,0	31,7	29,2±9,4	0,70	1,12	0,93	0,91±0,24
Кировский 2	29,6	33,9	33,2	32,2±2,6	19,4	44,2	32,5	32,0±14,0	0,71	1,50	1,08	1,09±0,45
98-35	35,0	37,4	31,4	34,6±3,4	23,1	41,4	39,5	34,6±11,4	0,81	1,55	1,24	1,20±0,42
07-57	33,5	32,9	32,2	32,8±0,7	18,8	34,7	30,7	28,0±9,4	0,63	1,14	0,99	0,92±0,30
08-09	35,6	33,8	33,5	34,3±1,3	17,5	27,8	38,8	28,0±12,1	0,62	0,94	1,30	0,95±0,38
08-86	36,9	35,2	32,7	34,9±2,4	22,2	28,4	32,4	27,6±5,8	0,82	1,00	1,06	0,96±0,14
P-95-160	36,9	35,4	33,4	35,2±2,0	20,3	25,7	33,5	26,5±7,5	0,75	0,91	1,12	0,92±0,21
11-161	39,1	38,5	30,2	36,2±5,6	19,8	27,5	39,1	28,8±11,0	0,79	1,06	1,18	1,01±0,23
162h15	34,1	33,7	31,5	33,1±1,6	22,9	30,3	38,4	30,5±8,8	0,78	1,02	1,21	1,00±0,24
91h18	35,9	36,0	31,8	34,5±2,7	21,2	33,3	39,0	31,1±10,3	0,76	1,20	1,24	1,06±0,30
485/16	–	38,3	30,6	34,5±7,5	–	40,2	35,6	37,9±4,5	–	1,54	1,09	1,31±0,44
168/20	–	33,0	33,2	33,1±0,2	–	36,9	41,8	39,3±4,8	–	1,22	1,39	1,30±0,17
237/20	–	34,0	33,4	33,7±0,6	–	36,4	38,6	37,5±2,2	–	1,24	1,29	1,26±0,05
230/20	–	30,1	30,4	30,2±0,3	–	31,2	37,8	34,5±6,5	–	0,94	1,15	1,04±0,21
159/20	–	35,5	33,1	34,3±2,4	–	20,3	39,8	30,1±19,1	–	0,72	1,32	1,02±0,59
342/20	–	33,3	32,8	33,1±0,5	–	30,6	31,1	30,9±0,5	–	1,02	1,02	1,02±0,10
113/20	–	32,5	32,0	32,2±0,5	–	39,0	39,7	39,3±0,7	–	1,19	1,27	1,23±0,08
236/19	–	36,1	30,8	33,4±5,2	–	36,0	40,1	38,0±4,0	–	1,30	1,24	1,27±0,06
257/19	–	31,3	30,3	30,8±1,0	–	33,8	42,2	38,0±8,2	–	1,06	1,28	1,17±0,22
117/20	–	37,5	33,2	35,4±4,2	–	40,3	31,1	35,7±9,0	–	1,43	1,03	1,23±0,39
102/20	–	35,2	33,5	34,3±1,7	–	34,3	35,8	35,1±1,5	–	1,21	1,20	1,20±0,01
537/15	–	32,6	33,6	33,1±1,0	–	41,1	31,8	36,5±9,1	–	1,34	1,07	1,20±0,26
	Голозерные сорта											
Першерон, st	27,5	24,0	28,0	26,5±2,5	17,5	25,8	21,8	21,7±4,7	0,48	0,62	0,61	0,57±0,09
Азиль	29,3	26,0	29,3	28,2±2,2	17,1	29,2	25,6	23,9±7,0	0,50	0,76	0,75	0,67±0,17
Грива	30,0	27,0	29,9	28,9±1,9	16,1	23,3	25,1	21,5±5,4	0,48	0,63	0,75	0,62±0,15
57h2396	27,3	29,5	26,0	27,6±2,0	22,4	28,1	26,9	25,8±3,4	0,61	0,83	0,70	0,71±0,13
89-15	27,0	27,4	27,0	27,1±0,3	19,6	37,5	28,5	28,5±10,1	0,53	1,03	0,77	0,77±0,28
9h18	23,1	30,1	28,5	27,2±4,2	27,7	35,4	28,7	30,6±4,7	0,64	0,77	0,82	0,74±0,11
17h18	24,0	28,0	28,1	26,7±2,6	25,1	26,4	23,2	24,9±1,8	0,61	0,74	0,65	0,66±0,08
159h14	27,6	25,8	29,7	27,7±2,2	24,3	28,6	23,6	25,5±3,1	0,67	0,74	0,70	0,70±0,04

Примечание. * – доверительный интервал при $p < 0,05$.

Агрометеорологические условия 2022 и 2023 гг. были благоприятными для формирования семян, всхожесть семян в эти годы была 90–99 %. В 2021 г. получены семена со всхожестью 82–95 %, низкая всхожесть у некоторых сортов овса объясняется неблагоприятными погодными условиями (ливневые дожди вызвали образование подгона, и, как следствие, много щуплых невсхожих семян). Показатель натурной массы зерна в зависимости от года исследований варьировал от 400 до 662 г/л. Ежегодно полученные семена были кондиционные по чистоте, влажности, зараженности болезнями и вредителями, не содержали семян культурных и сорных растений.

Расчет энергетической эффективности показал, что наиболее эффективно возделывание сортов Стайер, Блиц, Кировский 2, 07-57, так как на получение единицы продукции затрачивается меньше энергии (табл. 4). Максимальный коэффициент энергетической эффективности получен этими сортами – 2,71–2,75, уровень рентабельности выращивания сортов – 53–54 %. Среди голозерных сортов овса максимальный коэффициент энергетической эффективности – 2,03–2,09 – обеспечили сорта 89-15, Грива, 17h18; уровень рентабельности выращивания сортов – 41–42 %.

Таблица 4. Энергетическая и экономическая эффективность возделывания сортов овса (2021–2023 гг.)
Table 4. Energy and economic efficiency of oat varieties cultivation (2021–2023)

Вариант (сорт)	Затраты энергии, МДж/га	Энергоемкость единицы продукции, МДж/т	Продукция в энергетическом эквиваленте, МДж/га	Коэффициент энергетической эффективности	Рентабельность, %
Пленчатые сорта					
Стайер, st	30087	7814	82967	2,75	54
Спринт 2	29812	8035	79950	2,68	51
Блиц	30028	7860	82320	2,74	53
Кировский 2	29930	7939	81243	2,71	53
98-35	29890	7970	80812	2,70	52
07-57	30028	7860	82320	2,74	53
08-09	29575	8238	77364	2,61	51
08-86	29438	8363	75856	2,57	50
Р-95-160	29024	8768	71330	2,45	48
11-161	28394	9496	64434	2,26	44
162h15	29477	8326	76287	2,58	50
91h18	29733	8101	79088	2,65	51
485/16	29083	8707	71977	2,47	47
168/20	29733	8101	79088	2,65	51
237/20	29457	8344	76071	2,58	50
230/20	29693	8135	78657	2,64	51
159/20	29556	8255	77149	2,61	51
342/20	29654	8169	78226	2,63	51
113/20	29595	8220	77580	2,62	51
236/19	29831	8019	80166	2,68	51
257/19	29595	8220	77580	2,62	51
117/20	29772	8068	79519	2,67	51
102/20	29398	8399	75425	2,56	50
537/15	29379	8418	75209	2,55	50
Голозерные сорта					
Першерон, st	26898	12062	48056	1,78	35
Азиль	27194	11426	51289	1,88	38
Грива	27646	10592	56245	2,03	41
57h2396	27469	10900	54306	1,97	40
89-15	27824	10305	58185	2,09	42
9h18	27272	11269	52151	1,91	38
17h18	27686	10527	56676	2,04	41
159h14	27430	10972	53875	1,96	40

Выводы. Из 24 испытываемых пленчатых сортов овса в среднем за 3 года испытаний (2021–2023 гг.) максимальная урожайность отмечена у стандарта – Стайер, у голозерных сор-

тов – 89-15. Самые скороспелые сорта – Стайер, Спринт 2, 9h18, 17h18. Сорта овса сформировали зерно с массой 1000 зерен: пленчатые – 29,3–39,2 г; голозерные – 24,0–30,1 г. Наиболее круп-

ное зерно формируют сорта Стайер, 11-161, Азиль, Грива, 159h14, 89-15, 9h18. Самое большое количество зерен сформировали сорт Кировский 2 (44,2 шт.), сорт 89-15 (37,5 шт.). Большое количество зерен в метелке формируют сорта 98-35, 485/16,168/20,113/20, 9h18. Максимальный показатель продуктивности

метелки – 1,55 г отмечен у сорта 98-35. Самые перспективные для Пермского края сорта овса Блиц, Кировский 2, Грива.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 124020600030-6.

Библиографический список

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп., стереотип. М.: Альянс, 2014. 352 с.
2. Баталова Г. А., Лисицын Е.М. Модель сорта пленчатого овса для алюмокислых почв Северо-Востока Европейской части России // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2024. № 7(73). С. 10–18. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-7-10-18
3. Баталова Г. А., Шевченко С. Н., Тулякова М. В. Селекция голозерного овса, ценного по качеству зерна // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 5. С. 6–9.
4. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Лоскутов И. Г. Исходный материал для создания высокобелковых сортов овса в зоне Северного Зауралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, № 2. С. 38–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-38-47
5. Кардашина В. Е., Николаева Л. С. Агроэкологическая оценка сортов и перспективных линий овса универсального использования // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 5. С. 56–60. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10511
6. Кардашина В. Е., Бессонова Л. В., Вяткина Р. И. Оценка сортов ярового овса по урожайности и адаптивности к климатическим условиям Предуралья // Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды. Пермь, 2023. С. 262–267.
7. Кротова Н. В., Баталова Г. А. Изучение коллекционных образцов голозерного овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182(4). С. 18–26. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26
8. Сотник А. Я., Лоскутов И. Г. Селекционно-ценные образцы овса с оптимальным сочетанием урожайности и продолжительности вегетационного периода для Приобской лесостепи // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2020-10204.
9. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Салтыков С. С., Пермьякова С. В. Оценка параметров адаптивности коллекционных сортообразцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 49–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-49-55
10. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Пермьякова С. В. Адаптивный потенциал генофонда овса пленчатого по массе 1000 зерен // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 3–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8
11. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Лоскутов И. Г., Пермьякова С. В., Кротова Н. В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

Reference

1. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 6-e izd., pererab. i dop., stereotip. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
2. Batalova G. A., Lisitsyn E.M. Model' sorta plenchatogo ovsa dlya alyumokislykh pochv Severo-Vostoka Evropeiskoi chasti Rossii [Model of a hulled oat variety for aluminous soils of the North-East of the European part of Russia] // Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN. 2024. № 7(73). S. 10–18. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-7-10-18
3. Batalova G. A., Shevchenko S. N., Tulyakova M. V. Seleksiya golozernogo ovsa, tsennogo po kachestvu zerna [Breeding of hullless oats, valuable for grain quality] // Rossiiskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka. 2016. № 5. S. 6–9.
4. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Loskutov I. G. Iskhodnyi material dlya sozdaniya vysokobelkovykh sortov ovsa v zone Severnogo Zaural'ya [Initial material for the development of high-protein oat varieties in the Northern Trans-Urals] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2017. T. 178, № 2. S. 38–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-38-47
5. Kardashina V. E., Nikolaeva L. S. Agroekologicheskaya otsenka sortov i perspektivnykh linii ovsa universal'nogo ispol'zovaniya [Agroecological estimation of oat varieties and promising lines for universal use] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 5. S. 56–60. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10511
6. Kardashina V. E., Bessonova L. V., Vyatkina R. I. Otsenka sortov yarovogo ovsa po urozhainosti i adaptivnosti k klimaticheskim usloviyam Predural'ya [Estimation of spring oat varieties according to productivity and adaptability to the climatic conditions of the Urals] // Razvitie sovremennykh sistem zemledeliya i zhivotnovodstva, obespechivayushchikh ekologicheskuyu bezopasnost' okruzhayushchei sredy. Perm'. 2023. S. 262–267.
7. Krotova N. V., Batalova G. A. Izuchenie kolleksiionnykh obraztsov golozernogo ovsa [Study of the collection samples of hullless oats. Works on applied botany, genetics and breeding] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2021. № 182(4). S. 18–26. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-18-26

8. Sotnik A. Ya., Loskutov I. G. Seleksionno-tsennyye obraztsy ovsa s optimal'nym sochetaniem urozhainosti i prodolzhitel'nosti vegetatsionnogo perioda dlya Priobskoi lesostepi [Breeding-valuable oat samples with an optimal combination of productivity and vegetation period length for the Ob forest-steppe] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 2. S. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2020-10204.

9. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Saltykov S. S., Permyakova S. V. Otsenka parametrov adaptivnosti kolleksionnykh sortoobraztsov ovsa plenchatogo po urozhainosti v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Estimation of the adaptability parameters of collection hulled oat varieties according to productivity in the Kirov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 2. S. 49–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-49-55

10. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Permyakova S. V. Adaptivnyi potentsial genofonda ovsa plenchatogo po masse 1000 zeren [Adaptive potential of the gene pool of hulled oats according to 1000-grain weight] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). S. 3–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-3-8

11. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Loskutov I. G., Permyakova S. V., Krotova N. V. Otsenka adaptivnykh parametrov kolleksionnykh obraztsov ovsa plenchatogo po urozhainosti v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Estimation of the adaptive parameters of collection hulled oat samples of hulled oats according to productivity in the Kirov region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. T. 182, № 1. S. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

Поступила: 28.02.25; доработана после рецензирования: 17.06.25; принята к публикации: 17.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Бессонова Л. В. – концептуализация исследования, подготовка рукописи, подготовка опыта; Вяткина Р. И., Валиев В. В. – выполнение полевых и лабораторных опытов и сбор данных, их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БИОПРЕПАРАТОВ ФГБНУ ВНИИСХМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ И СОРГО ЗЕРНОВОГО В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ПРИРОДНО-СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Васильченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, wasilchenko12@rambler.ru, ORCIDID: 0000-0003-1587-2533;

Г. В. Метлина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ФГБНУ «АНЦ «Донской», metlina_gv@mail.ru, ORCIDID: 0000-0003-1712-0976;

А. П. Юрков², кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, ap.yurkov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-2231-6466;

Ю. В. Лактионов², кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий, laktionov@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-6241-0273.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт

сельскохозяйственной микробиологии,

196600, г. Санкт-Петербург, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: arriam2008@yandex.ru

Полевые опыты проводили в 2020, 2021 и 2023 гг. на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» в лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур. Целью исследований являлось выявление влияния применения биопрепаратов производства ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург) на продуктивность сорго зернового и кукурузы в условиях южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области. Почвы опытного участка представлены черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым с содержанием гумуса в пахотном слое 3,36 %, рН – 7,0, P₂O₅ – 24,4; K₂O – 360 мг/кг почвы. Объектом исследований являлись сорт сорго зернового Зерноградское 88 и гибрид кукурузы Зерноградский 354МВ. В 2020 г. отмечалось наименьшее выпадение атмосферных осадков (245 мм) за вегетационный период, а наибольшее их количество было в 2021 г. – 368,0 мм. Применение биопрепаратов производства ВНИИСХМ способствовало повышению полевой всхожести (2,2–2,8 и 3,0–4,5 %) и сохранности растений к уборке (1,9–2,9 и 2,7–3,4 %) на сорго зерновом и кукурузе соответственно. В результате улучшения элементов структуры урожайности отмечалось повышение урожайности зерна кукурузы на 0,33–0,45 т/га и сорго зернового на 0,35–0,43 т/га. Также повышение урожайности зерна от применения биопрепаратов на кукурузе и сорго зерновом способствовало росту стоимости валовой продукции на 3150–3870 руб./га и 3465–4725 руб./га соответственно. В вариантах с применением биопрепаратов отмечалась наиболее низкая себестоимость зерна (3208–3269 руб./т) и наиболее высокая рентабельность (173,9–180,5 %) при возделывании сорго зернового.

Ключевые слова: кукуруза, сорго зерновое, биопрепараты, урожайность, экономическая эффективность.

Для цитирования: Васильченко С. А., Метлина Г. В., Юрков А. П., Лактионов Ю. В. Сравнительная оценка применения современных биопрепаратов ФГБНУ ВНИИСХМ на продуктивность кукурузы и сорго зернового в условиях южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 77–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-77-83.



COMPARATIVE ESTIMATION OF THE USE OF MODERN BIOPRODUCTS OF THE FSBSI ARRIAMB ON MAIZE AND GRAIN SORGHUM PRODUCTIVITY IN THE SOUTHERN NATURAL AND AGRICULTURAL PART OF THE ROSTOV REGION

S. A. Vasilchenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, wasilchenko12@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;

G. V. Metlina¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, metlina_gv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1712-0976;

A. P. Yurkov², Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, ap.yurkov@arriam.ru, ORCID ID: 0000-0002-2231-6466;

Yu. V. Laktionov², Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for ecology of symbiotic and associative rhizobacteria, laktionov@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-6241-0273

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²FSBSI All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology 196600, Saint-Petersburg, Pushkin, Podbelskiy Sh., 3; e-mail: arriam2008@yandex.ru

Field trials were conducted in 2020, 2021 and 2023 in the fields of the FSBSI "ARC "Donskoy" in the laboratory for cultivation technology of grain and row crops. The purpose of the current study was to identify the effect of bioproducts produced by the FSBSI ARRIAMB (St. Petersburg) on grain sorghum and maize productivity in the southern natural and agricultural part of the Rostov Region. The soils of the experimental plot were ordinary blackearth, heavy loamy, with 3.36% of humus in the arable layer, 7.0 pH, 24.4 of P₂O₅, 360 mg of K₂O per kg of soil. The object of the study was the grain sorghum variety 'Zernogradskoye 88' and the maize hybrid 'Zernogradsky 354MV'. In 2020 there was the lowest precipitation of 245 mm during the vegetation period and the highest amount of 368.0 mm was in 2021. The use of bioproducts produced by ARRIAMB contributed to an increase in field germination (2.2–2.8 % and 3.0–4.5 %) and plant survival for harvesting (1.9–2.9 % and 2.7–3.4 %) on grain sorghum and maize, respectively. As a result of improving yield structure elements, there was established an improvement of maize grain productivity by 0.33–0.45 t/ha and grain sorghum productivity by 0.35–0.43 t/ha. Also, the grain productivity increase, caused by bioproducts used on maize and grain sorghum, contributed to the cost increase of gross output by 3150–3870 rubles/ha and 3465–4725 rubles/ha, respectively. In the variants with the use of bioproducts, the lowest cost of grain (3208–3269 rubles/t) and the highest profitability (173.9–180.5 %) were established when cultivating grain sorghum.

Keywords: maize, grain sorghum, bioproducts, productivity, economic efficiency.

Введение. В России и мире отмечается рост применения биопрепаратов для растениеводства (Жемчужин и др., 2024). Ежегодные разработки ученых с целью перехода к производству экологически чистой агропродукции позволяют увеличивать ассортимент биопрепаратов (Савченко, 2019).

Применение биопрепаратов ассоциативных азотфиксаторов в агротехнологиях возделывания зерновых культур способствует увеличению урожайности основной и побочной продукции, повышает коэффициент использования азота из минеральных удобрений и его окупаемость зерном (Алферов и др., 2017; Алферов и др., 2018).

Применение биопрепаратов способствует повышению экономической и энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур (Козлова и др., 2017).

Обработка семян биопрепаратами положительно влияет на качество зерна, а также биомассы зерновых и кормовых культур, увеличивая содержание белка и энергии в получаемой продукции (Сухарева, 2021). При этом инокулянты на основе гриба арбускулярной микоризы *Rhizophagus irregularis* (ранее называемой *Glomus intraradices*) обладают неспецифическим действием, усиливая рост не менее 30 различных агрокультур (Юрков и др., 2017; Кирпичников и др., 2012; Юрков и др., 2018).

Обработка семян сорговых культур биопрепаратами увеличивает полевую всхожесть на 6–17 %, а также способствует повышению общей и продуктивной кустистости (Евчук и др., 2024; Сухарева, 2024).

Инокуляция семян комплексом микроорганизмов (КМ) в технологии прямого посева способствует оптимизации микробиоты в ризосфере и повышению адаптационного потенциала сорго зернового при неблагоприятных погодных условиях (Абдурашитова и др., 2022).

В связи с этим целью исследований являлось выявление влияния применения био-

препаратов производства ФГБНУ ВНИИСХМ на продуктивность сорго зернового и кукурузы в условиях южной природно-сельскохозяйственной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Полевые опыты проводили в 2020, 2021 и 2023 гг. на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» в лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Содержание гумуса в пахотном слое 3,36%, pH – 7,0, P₂O₅ – 24,4; K₂O – 360 мг/кг почвы.

Технология возделывания кукурузы и сорго зернового общепринятая для южной зоны Ростовской области (Зональные системы земледелия Ростовской области, 2022; Ковтунова и др., 2018). Посев проводили селекционной сеялкой Клен 4,2 со следующими нормами высева: кукуруза – 60 тыс. шт. всхожих семян/га, сорго зерновое – 300 тыс. шт. всхожих семян/га. Посев кукурузы проводили в третьей декаде апреля – первой декаде мая, а сорго зернового во второй-третьей декаде мая.

Общая площадь делянки в опыте составляла 63 м², учетная – 46 м². Повторность четырехкратная. Расположение делянок систематическое. Предшественник озимая пшеница.

Исследуемые биопрепараты были представлены ФГБНУ ВНИИСХМ в рамках договора о научном сотрудничестве с ФГБНУ «АНЦ «Донской». Обработку семян биопрепаратами выполняли непосредственно перед посевом. В опыте изучались следующие биопрепараты.

Штамм *Bacillus subtilis* SS-1 – штамм демонстрирует выраженные свойства, способствующие росту растений, включая синтез фитогормонов, солюбилизацию фосфатов, продукцию сидерофоров, а также антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов и бактерий.

Штамм *Bacillusmyloliouefaciens*SS-2 – эффективный антагонист фитопатогенов. Продуцирует широкий спектр антимикробных пептидов и лизоцимоподобных ферментов, подавляющих рост фитопатогенных грибов (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Alternaria* и др.) и бактерий.

Флавобактерин (биопестицид группы ФАРМАТ) – биопрепарат на основе бактерий *Flavobacterium*sp. L-30. Препарат азотфиксирующих бактерий фунгицидно-стимулирующего действия (синтезирует ряд антибиотиков феназинового типа, подавляющих рост и развитие фитопатогенных грибов рода *Fusarium*, *Gaeumannomyces* и др.).

Инокулянт «Арбускулярная микориза» (AM) на основе *Rhizophagusirregularis* штамм RCAM00320 (класс *Glomeromycetes*) представляет собой препарат на основе AM-гриба, который формирует в корнях растения-хозяина уникальные структуры – арбускулы и везикулы. AM-грибы помогают растениям улавливать питательные вещества, такие как фосфор, сера, азот и микроэлементы из почвы. Этот симбиоз представляет собой высокоразвитую мутуалистическую взаимосвязь, обнаруженную между грибами и растениями, наиболее распространенный из известных симбиозов растений.

Полевой опыт проводили на следующих сортах и гибридах.

Гибрид кукурузы *Зерноградский 354 МВ*. Оригинаторы ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Среднеспелый (ФАО 350), вегетационный период 113–118 дней. Растения среднерослые (210–230 см). Универсального использования: на зерно и силос. Гибрид среднеустойчив к поражению пузырчатой головней, высокоустойчив к другим болезням. Высокоустойчив к полеганию и ломкости стебля, засухоустойчив.

Сорт зернового сорго *Зерноградское 88*. Оригинатор ФГБНУ «АНЦ «Донской». Раннеспелый (вегетационный период 90–95 дней), низкорослый (высота растений 92–94 см). Относится к виду сорго хлебного. Масса 1000 зерен 24–26 г. Содержание в зерне: белка – 12–13 %, крахмала – 72,0–77,0 %, жира – 3,5–4,3 %, Сорт низкорослый, устойчивый к полеганию.

В годы исследований среднесуточная температура воздуха за период апрель–сентябрь составляла 19,6 оС в 2020 г., 20,0 °С в 2021 г. и 19,2 °С в 2023 г. (табл. 1).

Таблица 1. Среднесуточная температура воздуха в вегетационный период кукурузы (по данным www.rp5.ru)
Table 1. Average daily air temperature during the vegetation period of maize (according to www.rp5.ru)

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С			Среднемноголетняя температура воздуха, °С	Осадки, мм			Среднемноголетние осадки, мм
	2020 г.	2021 г.	2023 г.		2020 г.	2021 г.	2023 г.	
Апрель	9,1	11,9	11,3	10,7	18,2	95,7	82,4	42,7
Май	15,4	18,1	15,6	16,5	79,9	64,5	110,4	51,3
Июнь	23,1	21,5	20,4	20,5	38,8	103,9	37,0	71,3
Июль	25,7	26,7	23,6	23,1	60,7	24,6	51,7	57,7
Август	23,3	25,8	25,6	21,9	44,7	51,1	19,5	45,2
Сентябрь	20,7	16,1	18,6	16,3	2,7	28,5	20,5	42,3
Среднее	19,6	20,0	19,2	18,2	–	–	–	–
Сумма	–	–	–	–	245,0	368,3	321,5	310,5

Наиболее низкие среднесуточные температуры воздуха были зафиксированы в апреле, когда ее значения находились на уровне 9,1–11,9 °С при норме 10,7 °С. Май 2021 и 2023 гг. характеризовался ее значением на 1,1 и 0,9 °С ниже нормы.

В летние месяцы отмечалось превышение среднесуточной температуры воздуха над среднемноголетней, за исключением июня 2023 года. В сентябре 2020 и 2023 гг. наблюдалось превышение значения данного показателя над среднемноголетней нормой на 4,4 и 2,3 °С.

Наиболее засушливым годом исследования был 2020-й, когда сумма осадков за период апрель – сентябрь составила 245 мм. В 2021 и 2023 гг. превышение к среднемноголетней норме осадков составляло 57,8 и 11,0 мм соответственно. Так, в апреле и мае наблюдалось превышение среднего количества осадков

на 22,7 и 33,6 мм. В летние месяцы и в сентябре, наоборот, среднее количество осадков за годы исследований было ниже среднегодового количества осадков на 6,8–25,1 мм.

Подобные гидротермические условия были благоприятны для возделывания кукурузы и сорго зернового в 2021 и 2023 гг. и менее благоприятны в 2020 году.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые в опыте биопрепараты оказали влияние на полевую всхожесть и сохранность растений к уборке кукурузы и сорго зернового. Полевая всхожесть по сорго зерновому составляла 82,6–85,4 %, кукурузе – 81,8–86,3 % (табл. 2).

Применяемые биопрепараты за счет улучшения азотного и фосфорного питания способствовали повышению сохранности растений к уборке. В вариантах с применением биопрепаратов на сорго зерновом прибавка составляла 1,9–2,9 %, на кукурузе – 2,7–3,4 %.

Таблица 2. Влияние биопрепаратов на полевую всхожесть и сохранность к уборке растений сорго зернового и кукурузы (2020–2021, 2023 гг.)
Table 2. Effect of bioproducts on field germination and survival for harvesting of grain sorghum and maize plants (2020–2021, 2023)

Культура	Вариант	Полевая всхожесть, %	Густота стояния растений, шт./м ²		Сохранность растений к уборке, %
			Сорго	Кукуруза	
Сорго зерновое	Контроль	82,6	24,78	20,62	83,2
	SS-1	85,0	25,51	21,71	85,1
	SS-2	84,8	25,43	21,78	85,6
	Флавобактерин	85,3	25,58	22,03	86,1
	AM	85,4	25,62	21,95	85,7
	Среднее	–	25,38	21,62	–
	HCP ₀₅	–	0,59	0,85	–
Кукуруза	Контроль	81,8	4,91	4,11	83,7
	SS-1	84,8	5,09	4,40	86,4
	SS-2	85,5	5,13	4,46	86,9
	Флавобактерин	86,3	5,18	4,51	87,1
	Среднее	–	5,08	4,37	–
	HCP ₀₅	–	0,20	0,16	–

В результате применения биопрепаратов для обработки семян отмечалось увеличение показателей зерновой продуктивности сорго зернового, где достоверное превышение зна-

чений над величиной наименьшей существенной разности отмечалось в вариантах SS-2 и AM (табл. 3).

Таблица 3. Влияние биопрепаратов на показатели структуры урожайности сорго зернового и кукурузы (2020–2021, 2023 гг.)
Table 3. Effect of bioproducts on yield structure indicators of grain sorghum and maize (2020–2021, 2023)

Вариант	Сорго зерновое			Кукуруза		
	Масса метелки	Масса зерна с метелки	Масса 1000 зерен	Масса початка	Масса зерна с початка	Масса 1000 зерен
Контроль	24,0	19,2	21,2	126,9	100,6	268,1
SS-1	25,4	20,3	22,0	141,7	111,8	295,1
SS-2	26,3	21,0	23,1	140,5	111,5	285,4
Флавобактерин	24,8	19,8	22,7	144,1	114,8	292,3
AM	25,9	20,7	24,2	–	–	–
Среднее	25,2	20,2	22,6	138,3	109,7	285,2
HCP ₀₅	1,7	1,4	1,8	10,8	8,0	20,7

Примечание: «–» – AM не применялась.

Полученные прибавки на гибриде Зерноградский 354МВ по показателям «масса початка» (13,6–17,2 г), «масса зерна с початка» (10,9–14,2 г), «масса 1000 зерен» (17,3–27,0 г) были достоверны.

В среднем за годы исследований наименьшая урожайность отмечалась в контрольном варианте как по сорго зерновому, так и по кукурузе (рис. 1).

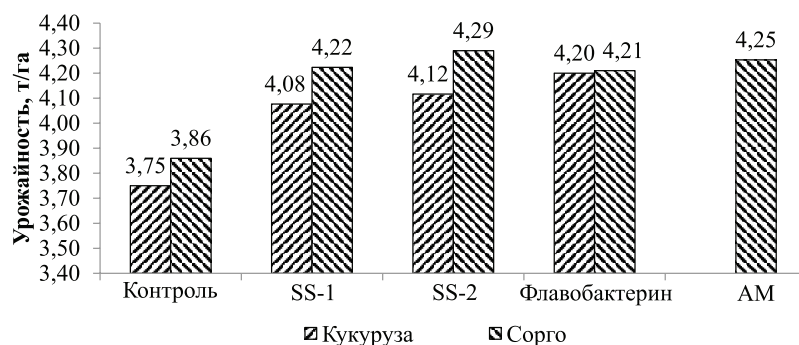


Рис. 1. Влияние применения биопрепаратов на урожайность зерна кукурузы и сорго зернового (среднее за 2020–2021, 2023 гг.)

Fig. 1. Effect of bioproducts on maize and grain sorghum productivity (mean in 2020–2021, 2023)

Примечание. HCP₀₅ по кукурузе – 0,32 т/га, по сорго зерновому – 0,30 т/га.

Применяемые биопрепараты положительно влияли на урожайность зерна, а полученные прибавки достоверно превышали контроль. Уровень прибавки от применения биопрепаратов составил по кукурузе 0,33–0,45 т/га, по сорго зерновому – 0,35–0,43 т/га. Вариабельность урожайности была высокой по обеим культурам и находилась в пределах 21,6–29,7% по сорго зерновому и 32,1–39,3% по кукурузе. При проведении корреляционного анализа было выявлено, что на формирование урожайности сорго зернового наиболее сильное влияние оказывают масса метелки ($r = 0,98 \pm 0,03$) и масса зерна с метелки ($r = 0,99 \pm 0,03$). Подобная тенденция также отмечалась и на кукурузе, где сильная корреляционная связь на-

блюдалась между урожайностью и массой початка ($r = 0,93 \pm 0,12$) и урожайностью и массой зерна с початка ($r = 0,93 \pm 0,12$). Среднесуточная температура воздуха имела сильную отрицательную корреляционную связь с урожайностью как кукурузы ($r = -0,98 \pm 0,06$), так и сорго зернового ($r = -0,97 \pm 0,06$).

Экономическая эффективность применения биопрепаратов проявлялась в увеличении стоимости валовой продукции, повышении условночистого дохода и рентабельности, а также снижении себестоимости продукции. Увеличение урожайности зерна способствовало повышению стоимости полученной продукции на 3465–4725 руб./га по сорго зерновому и на 3150–3870 руб./га по кукурузе (табл. 4).

Таблица 4. Влияние биопрепаратов на показатели экономической эффективности возделывания кукурузы и сорго зернового (2020–2021, 2023 гг.)
Table 4. Effect of bioproducts on economic efficiency indicators of maize and grain sorghum cultivation (2020–2021, 2023)

Культура	Вариант опыта	Стоимость валовой продукции, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Условно чистый доход, руб./га	Себестоимость, руб./т	Рентабельность, %
Кукуруза	Контроль	39 375	22 214	17 161	5924	77,3
	SS-1	42 840	22 767	20 073	5580	88,2
	SS-2	43 260	22 706	20 554	5511	90,5
	Флавобактерин	44 100	22 726	21 374	5411	94,0
Сорго зерновое	Контроль	34 740	13 346	21 394	3458	160,3
	SS-1	37 980	13 755	24 225	3260	176,1
	SS-2	38 610	13 763	24 847	3208	180,5
	Флавобактерин	37 890	13 836	24 054	3286	173,9
	AM	38 250	13 891	24 359	3269	175,4

Условночистый доход находился в пределах 17 161–21 374 руб./га по кукурузе и 21 394–24 847 руб./га по сорго зерновому. В вариантах с применением биопрепаратов себестоимость произведенной продукции снижалась и составила 5411–5580 руб./т по кукурузе и 3208–3269 руб./т по сорго зерновому против 5924 и 3458 руб./т соответственно на контрольном варианте.

Более высокий уровень рентабельности (160,3–180,5%) отмечался при возделывании сорго зернового, что было связано с низкими производственными затратами. Высокие производственные затраты значительно снижают рентабельность возделывания кукурузы, где ее значения находились на уровне 88,2–94,0% в вариантах применения биопрепаратов против 77,3% на контроле.

Выводы. Таким образом, применение биопрепаратов производства ВНИИСХМ (г. Санкт-

Петербург) способствовало повышениюлевой всхожести и сохранности растений к уборке. Улучшение показателей структуры урожайности положительно отразилось на урожайности зерна кукурузы и сорго зернового, где прибавка составила 0,33–0,45 т/га по кукурузе и 0,35–0,43 т/га по сорго зерновому. Повышение урожайности зерна способствовало росту стоимости валовой продукции на 3465–4725 руб./га по сорго зерновому и на 3150–3870 руб./га по кукурузе. Наиболее низкая себестоимость 1 т зерна (3208–3269 руб.) и наиболее высокая рентабельность (173,9–180,5%) отмечалась при возделывании сорго зернового в вариантах с применением биопрепаратов.

Финансирование. Государственное задание № FGEW-2024-0009 – ФГБНУ ВНИИСХМ. Государственное задание № 0505-2022-0004 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Абдурашитова Э. Р., Мельничук Т. Н., Абдурашитов С. Ф., Еговцева А. Ю., Турин Е. Н., Гонгало А. А. Адаптивность микробоценоза ризосферы *Sorghumbicolor* под влиянием микробных агентов в условиях чернозема южного // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 2. С. 67–72. DOI: 10.31857/S2500262722020132
2. Алферов А. А., Чернова Л. С., Кожемяков А. П. Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице в Европейской части России на разных фонах минерального питания // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 17–21.
3. Алферов А. А., Завалин А. А., Чернова Л. С. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при инокуляции семян Ризоагрином // Вестник Российской сельскохозяйственной наук. 2018. № 2. С. 12–16. DOI: 10.30850/vrsn/2018/2/12-16

4. Евчук М. В., Петров Н. Ю., Батыров В. А., Джиргалова Е. А., Хулхачиева Л., Болаев Б. К., Арылов Ю. Н. Влияние биопрепаратов на продуктивность сорговых культур на светло-каштановых почвах Калмыкии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. Т. 74, № 2. 2024. С. 95–103. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-11
5. Жемчужин С. Г., Спиридонов Ю. Я., Босак Г. С. Биопестициды: современное состояние проблемы (дайджест публикаций за 2012–2017 гг.) // Агрохимия. № 11. 2019. С. 77–85. DOI: 10.1134/S0002188119110140
6. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022 – 2026 гг. Ростов-на Дону: ООО «Альтаир», 2022. 736 с.
7. Кирпичников Н. А., Волков А. А., Чернышкова Л. Б., Юрков А. П., Якоби Л. М., Кожемяков А. П., Завалин А. А. Влияние фосфорных удобрений, известкования и биопрепаратов на растения ячменя и клевера в смешанном посеве // Агрохимия. 2012. № 11. С. 16–27.
8. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Горпиниченко С. И., Ермолина Г. М., Метлина Г. В., Романюкин А. Е., Васильченко С. А., Шишова Е. А., Лушпина О. А., Сухенко Н. Н., Алабушев А. В. Рекомендации по технологии возделывания сорго зернового, сахарного и суданской травы. Саратов, 2018. 28 с.
9. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Иванов В. Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3(58). С. 43–48.
10. Савченко И. В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 5. С. 527–531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531
11. Сухарева Л. В. Оценка влияния биопрепаратов на рост и развитие сорговых культур в условиях Вологодской области // АгроЗооТехника. 2021. Т. 4, № 3. DOI: 10.15838/alt.2021.4.3.3
12. Сухарева Л. В. Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghumsudanense* (Piper) Stapf // Аграрный вестник Урала. Т. 24, № 1. 2024. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21
13. Юрков А. П., Кожемяков А. П., Степанова Г. В. Эффективность некоторых микробных биопрепаратов на основе бактерий и грибов арбускулярной микоризы // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2018. Т. 19, № 67. С. 20–28.
14. Юрков А. П., Лактионов Ю. В., Кожемяков А. П., Степанова Г. В. Анализ симбиотической эффективности бактериальных и грибных препаратов на кормовых культурах по данным урожайности семян // Кормопроизводство. 2017. № 3. С. 16–21.

References

1. Abdurashitova E. R., Mel'nichuk T. N., Abdurashitov S. F., Egovtseva A. Yu., Turin E. N., Gongalo A. A. Adaptivnost' mikrobotsenoza rizosfery *Sorghum bicolor* pod vliyaniem mikrobynykh agentov v usloviyakh chernozema yuzhnogo [Adaptability of the microbiocenosis of the rhizosphere of *Sorghum bicolor* under the effect of microbial agents in the conditions of southern blackearth] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2022. № 2. S. 67–72. DOI: 10.31857/S2500262722020132
2. Alferov A. A., Chernova L. S., Kozhemyakov A. P. Effektivnost' primeneniya biopreparatov na yarovoi pshenitse v Evropeiskoi chasti Rossii na raznykh fonakh mineral'nogo pitaniya [Efficiency of bioproducts on spring wheat in the European part of Russia on different backgrounds of mineral nutrition] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2017. № 6. S. 17–21.
3. Alferov A. A., Zavalin A. A., Chernova L. S. Urozhainost' i kachestvo zerna yarovoi pshenitsy pri inokulyatsii semyan Rizoagrinom [Productivity and grain quality of spring wheat when inoculating seeds with Rizoagrin] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauk. 2018. № 2. S. 12–16. DOI: 10.30850/vrsn/2018/2/12-16
4. Evchuk M. V., Petrov N. Yu., Batyrov V. A., Dzhirgalova E. A., Khulhachieva L., Bolaev B. K., Arylov Yu. N. Vliyanie biopreparatov na produktivnost' sorgovykh kul'tur na svetlo-kashtanovykh pochvakh Kalmykii [The effect of bioproducts on sorghum productivity on light chestnut soils of Kalmykia] // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. T. 74, № 2. 2024. S. 95–103. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-11
5. Zhemchuzhin S. G., Spiridonov Yu. Ya., Bosak G. S. Biopestitsidy: sovremennoe sostoyanie problemy (dajzhest publikatsii za 2012–2017 gg.) [Biopesticides: current state of the problem (Publication Digest of 2012–2017)] // Agrokhimiya. № 11. 2019. S. 77–85. DOI: 10.1134/S0002188119110140
6. Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoi oblasti v 2022–2026 gg [Zonal farming systems of the Rostov region in 2022–2026]. Rostov-na-Donu, 2022. 736 s.
7. Kirpichnikov N. A., Volkov A. A., Chernyshkova L. B., Yurkov A. P., Yakobi L. M., Kozhemyakov A. P., Zavalin A. A. Vliyanie fosfornykh udobrenii, izvestkovaniya i biopreparatov na rasteniya yachmenya i klevera v smeshannom poseve [The effect of phosphorus fertilizers, liming and bioproducts on barley and clover in mixed cropping] // Agrokhimiya. 2012. № 11. S. 16–27.
8. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Gorpichenko S. I., Ermolina G. M., Metlina G. V., Romanyukin A. E., Vasil'chenko S. A., Shishova E. A., Lushpina O. A., Sukhenko N. N., Alabushev A. V. Rekomendatsii po tekhnologii vozdelvaniya sorgo zernovogo, sakharnogo i sudanskoi travy [Recommendations on the cultivation technology of grain sorghum, sweet sorghum and Sudan grass]. Saratov, 2018. 28 s.
9. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Ivanov V. L. Uluchshennaya resursosberegayushchaya tekhnologiya obrabotki pochvy i primeneniya biopreparatov pod yarovye zernovye kul'tury v usloviyakh tsentral'noi zony Severo-Vostoka evropeiskoi chasti Rossii [Improved resource-saving technology of soil cultivation and application of bioproducts for spring grain crops in the central part of the North-East of the European part of Russia] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2017. № 3(58). S. 43–48.

10. Savchenko I. V. Resursosberegayushchie ekologicheskie chistoe rastenievodstvo dlya polucheniya produktii vysokogo kachestva [Resource-saving environmentally friendly crop production for obtaining high-quality products] // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2019. T. 89, № 5. S. 527–531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531

11. Sukhareva L. V. Otsenka vliyaniya biopreparatov na rost i razvitie sorgovykh kul'tur v usloviyakh Vologodskoi oblasti [Estimation of the effect of bioproducts on the sorghum growth and development in the Vologda region] // AgroZooTekhnika. 2021. T. 4, № 3. DOI: 10.15838/alt.2021.4.3.3

12. Sukhareva L. V. Deistvie biopreparatov na rostovye parametry *Sorghum sudanense* (Riper) Stapf [The effect of bioproducts on the growth parameters of *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf] // Agrarnyi vestnik Urala. T. 24, № 1. 2024. S. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21

13. Yurkov A. P., Kozhemyakov A. P., Stepanova G. V. Effektivnost' nekotorykh mikrobnnykh biopreparatov na osnove bakterii i gribov arbuskulyarnoi mikorizy [Efficiency of some microbial bioproducts based on bacteria and fungi of arbuscular mycorrhiza] // Mnogofunktional'noe adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2018. T. 19, № 67. S. 20–28.

14. Yurkov A. P., Laktionov Yu. V., Kozhemyakov A. P., Stepanova G. V. Analiz simbioticheskoi effektivnosti bakterial'nykh i gribnykh preparatov na kormovykh kul'turakh po dannym urozhainosti semyan [Analysis of the symbiotic efficiency of bacterial and fungal products on forage crops according to seed productivity data] // Kormoproizvodstvo. 2017. № 3. S. 16–21.

Поступила: 28.04.25; доработана после рецензирования: 20.06.25; принята к публикации: 03.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Васильченко С. А. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Метлина Г. В. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Юрков А. П. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Лактионов Ю. В. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.18:632.488:632.952:631.559

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-84-89

ИЗУЧЕНИЕ ИНГИБИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НОВОГО ФУНГИЦИДА ЛАНЦЕЯ ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЯ ПИРИКУЛЯРИОЗА РИСА

С. В. Безмутко, научный сотрудник лаборатории фитопатологии, gsv709@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-4168-3779;

Т. А. Выборова, младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии, tataop18@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3420-9844

*Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки»,
692684, Приморский край, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, д. 42а; e-mail: dalniizr@mail.ru*

В статье представлены двухлетние (2021–2022 гг.) результаты исследований по оценке эффективности нового двухкомпонентного (125 г/л пропиконазола + 100 г/л пикоксистробина) фунгицида Ланцея, КМЭ против пирикуляриоза риса в условиях лабораторного и вегетационного опытов. Цель работы – изучить ингибирующую активность препарата против возбудителя пирикуляриоза риса, определить биологическую и хозяйственную эффективность, а также влияние на структуру урожая культуры. В рамках экспериментов были протестированы три дозировки: 0,8 л/га; 1,0 л/га и 1,2 л/га. В ходе первичных лабораторных испытаний на чистой культуре *Pyricularia oryzae* выявлена высокая подавляющая активность препарата в отношении приморской популяции патогена. Отмечено, что Ланцея во всех испытанных концентрациях существенно сдерживает рост колоний гриба. Внесение рабочего раствора фунгицида в лунки на питательной среде обеспечивает значительное профилактирующее действие на развитие *P. oryzae* в сравнении с необработанным контролем. Наблюдалась положительная динамика, даже при минимальной концентрации фунгицида происходило значительное уменьшение площади покрытия агара мицелием. В условиях вегетационного опыта установлено, что использование препарата в качестве фунгицида для обработки растений риса существенно снижает развитие пирикуляриоза. Под воздействием Ланцея пораженность достоверно относительно контроля снижалась на 77,2 (0,8 л/га); 75,9 (1,0 л/га) и 67,1% (1,2 л/га). Зарегистрировано, что применение препарата в период вегетации оказало влияние на развитие растений и их продуктивность. При использовании Ланцея наблюдались положительные эффекты: увеличение роста растений, массы зерна с одного растения и 1000 семян. Фунгицидная обработка посевов риса привела к значительному увеличению урожайности. Во всех экспериментальных вариантах с применением Ланцея были зафиксированы статистически достоверные прибавки урожая.

Ключевые слова: рис, пирикуляриоз, фунгицид, Ланцея, эффективность, урожайность.

Для цитирования: Безмутко С. В., Выборова Т. А. Изучение ингибирующего действия нового фунгицида Ланцея против возбудителя пирикуляриоза риса // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 84–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-84-89.



STUDY OF THE INHIBITORY EFFECT OF THE NEW FUNGICIDE 'LANTSEYA' AGAINST THE CAUSATIVE AGENT OF RICE BLAST

S. V. Bezmutko, researcher of the laboratory for phytopathology, gsv709@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-4168-3779;

T. A. Vyborova, junior researcher of the laboratory for phytopathology, tataop18@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3420-9844

*FERIPP, a branch of the FRC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika,
692684, Primorsky Region, v. of Kamen-Rybolov, Mir Str., 42a, e-mail: dalniizr@mail.ru*

The current paper has presented the two-year (2021–2022) study results to estimate the efficiency of a new two-component (125 g/l prothioconazole + 100 g/l picoxystrobin) fungicide 'Lantseya', MEC against rice blast in laboratory and vegetation trials. The purpose of the work was to study the inhibitory activity of the product against the causative agent of rice blast, determine the biological and economic efficiency, as well as the effect on the crop yield structure. There have been tested three dosages of 0.8 l/ha, 1.0 l/ha and 1.2 l/ha. During the initial laboratory tests on pure culture of *Pyricularia oryzae*, there has been identified high suppressive activity of the product against the seaside population of the pathogen. There has been established that 'Lantseya' in all tested concentrations significantly inhibits the growth of fungal colonies. The introduction of the working solution of the fungicide on the nutrient medium has provided a significant preventive effect on the development of *P. oryzae*, compared to the untreated control. There was a positive dynamic, there was a significant decrease in the agar area covered with mycelium even at the minimum concentration of the fungicide. In the conditions of the vegetation trial there has been found that the use of the product as a fungicide for treating rice plants significantly reduces the blast development. Under the effect of 'Lantseya', the infestation significantly decreased by 77.2 (0.8 l/ha), 75.9 (1.0 l/ha) and 67.1 % (1.2 l/ha) relative to the control. There has been recorded that the use of the product during the vegetation period influenced

the development of plants and their productivity. There were positive effects when using 'Lantsey', such as increased plant growth, grain weight per plant and 1000-seed weight. Fungicidal treatment of rice crops has resulted in a significant productivity increase. There have been recorded statistically reliable productivity increases in all experimental variants using 'Lantsey'.

Keywords: rice, blast, fungicide, Lantsey, efficiency, productivity.

Введение. Рис является одной из основных культур и имеет жизненно важное значение для продовольственной безопасности более половины населения мира. Среди зерновых культур, возделываемых на земном шаре для питания, рис занимает второе место как по площади посева, так и по урожайности (Бондарева и др., 2005; Галицына и Дмитренко, 2022). Получению высоких и устойчивых урожаев препятствуют биотические и абиотические факторы, в частности, развитие комплекса вредоносных заболеваний (Брагина и др., 2022).

Немаловажную роль в снижении урожайности зерновых культур играют грибные болезни. Поражая надземные части растения, они вызывают отмирание тканей. Во всех рисосеющих странах, в том числе в России, основным патогеном, приводящим к значительным потерям урожая риса, является грибок *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr – возбудитель пирикулярриоза (*Pyricularia oryzae* Br. et Cav.) (Коротенко и др., 2018; Брагина, 2020; Сидоров и др., 2023). Характер проявления пирикулярриоза зависит от агроклиматических условий и генотипа. В условиях влажной теплой погоды на восприимчивых сортах риса часто обнаруживаются все формы поражения: узловая, метельчатая и листовая. Специалисты отмечают, что под действием других микроорганизмов патоген в почве обычно погибает, но хорошо перезимовывает на ее поверхности (Романова и др., 2009).

Агротехнические приемы снижают уровень вредоносности заболевания, но не обеспечивают полную защиту посевов. Для борьбы с пирикулярриозом широко используются химические средства (Брагина и Красовский, 2021). В современной практике защиты растений доминирующее положение занимают системные фунгициды, отличающиеся выраженным биологическим эффектом и пролонгированным действием. Однако существующий выбор противогрибковых средств существенно ограничен, что вынуждает аграриев прибегать к использованию препаратов, предназначенных для защиты суходольных культур. Такие средства, не прошедшие проверку эффективности против пирикулярриоза, часто демонстрируют низкую результативность при стандартных нормах внесения. В связи с этим возникает острая потребность в расширении ассортимента фунгицидов, способных эффективно противостоять пирикулярриозу.

Цель работы – изучить ингибирующую активность нового фунгицида Ланцея против возбудителя пирикулярриоза риса, определить биологическую и хозяйственную эффективность препарата, а также его влияние на структуру урожая культуры.

Материалы и методы исследований.

В ходе двухлетних (2021–2022 гг.) научных исследований, проведенных в Дальневосточном НИИ защиты растений, была изучена эффективность нового фунгицида Ланцея, КМЭ в лабораторных и вегетационных условиях против пирикулярриоза риса. Препарат представляет собой двухкомпонентное средство, содержащее протиоконазол (125 г/л) и пикоксистробин (100 г/л). В рамках экспериментов были протестированы три дозировки Ланцея: 0,8 л/га; 1,0 л/га и 1,2 л/га. Для сравнения использовался стандартный препарат Аканто Плюс, КС, содержащий пикоксистробин (200 г/л) и ципроконазол (80 г/л) в норме применения 0,7 л/га. Условия проведения опыта: четырехкратная повторность, расход рабочей жидкости 300 л/га, однократная обработка.

В ходе лабораторного исследования (2021 г.) проведены испытания фунгицидной активности изучаемого препарата в отношении пирикулярриоза риса на чистой культуре. Посев гриба *Pyricularia oryzae* (смесь рас, встречающихся в Приморском крае) проводили на агаризированную питательную среду. Предварительно в чистой среде вырезали круглые лунки диаметром 5 мм. Затем в каждую лунку вносили по 0,1 мл раствора фунгицида (0,2 мл на чашку Петри). Концентрацию рассчитывали в соответствии с рекомендуемыми нормами рабочего расхода препарата на 1 га. Водные растворы препаратов готовили в микробиологическом боксе в день эксперимента и использовали свежими сразу после разведения. В контрольные чашки добавляли дистиллированную стерильную воду. Высеянные на питательную среду изоляты инкубировали в термостате в течение 14 дней. На 7-е и 14-е сутки измеряли размер колоний *P. oryzae* и на основании этого делали выводы о действии препарата на развитие патогена.

В условиях вегетационного домика проведена оценка биологической и хозяйственной эффективности Ланцея против пирикулярриоза риса. В ходе экспериментальной работы рис сорта Дальневосточный высаживали в сосуды, наполненные почвосмесью, по 15 семян в каждый. Инокуляцию проводили в фазу 4–5 листьев по общепринятой методике (Коваленко и др., 1988). Температура воздуха в вегетационном домике во время заражения растений составила 22,2 °С (2021 г.) и 24,9 °С (2022 г.) при относительной влажности воздуха 89 и 84% соответственно. В рамках исследования была использована коллекция ДВНИИЗР патогенных изолятов возбудителя пирикулярриоза для формирования инфекционного фона. Через 24 ч после инокуляции проводили обработку фунгицидами. Во время применения препаратов в вегетационном домике были отмечены сле-

дующие климатические условия: в 2021 г. – температура 24,1 °С и влажность 87 %, в 2022 г. – температура 26,8 °С и влажность 76 %. Учеты развития болезни на растениях риса осуществляли весь период вегетации культуры с интервалом 10–14 дней (Yamada and Kiyosawa, 1976). Финальная стадия исследования включала в себя полную уборку растений из сосудов с последующим детальным разбором сноповых образцов. Анализ полученных данных проводили с применением дисперсионного анализа согласно общепринятой методике (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Исследование воздействия фунгицида Ланцея на чистую

культуру возбудителя пирикулярриоза выявило ряд закономерностей. Препарат продемонстрировал ингибирующее действие на рост грибковых колоний во всех протестированных дозировках. Наблюдалась положительная динамика: даже при минимальной концентрации фунгицида происходило значительное уменьшение площади покрытия агара мицелием. Дальнейшее увеличение концентрации препарата приводило к продолжению сокращения площади зарастания, при этом зафиксирована разница в эффективности между различными нормами расхода фунгицида (рис. 1, 2).



Рис. 1. Динамика роста мицелия *Pyricularia oryzae* под воздействием фунгицидов (7-й день эксперимента)
Fig. 1. Dynamics of *Pyricularia oryzae* mycelium growth under the impact of fungicides (7th day of the trial)

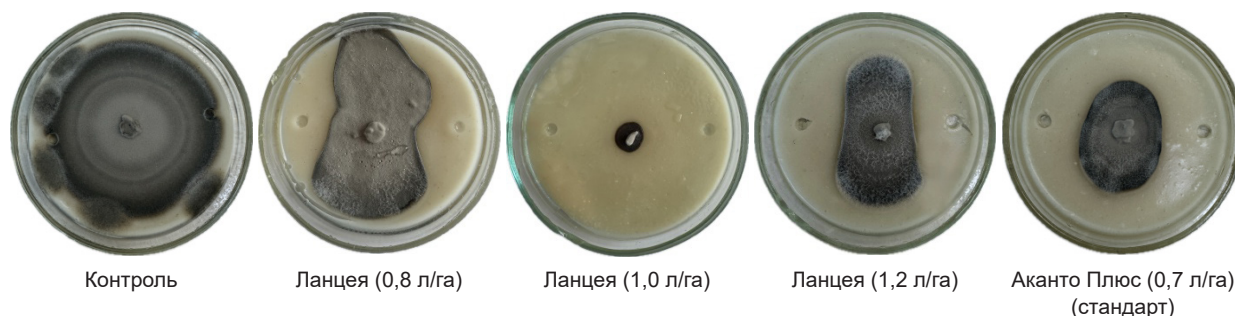


Рис. 2. Динамика роста мицелия *Pyricularia oryzae* под воздействием фунгицидов (14-й день эксперимента)
Fig. 2. Dynamics of *Pyricularia oryzae* mycelium growth under the impact of fungicides (14th day of the trial)

Через 7 дней после начала эксперимента зафиксировано, что в контрольном варианте площадь мицелия гриба составила 14,60 см². При этом применение фунгицида Ланцея показало значительное ингибирование роста патогена во всех исследуемых дозировках (НСР₀₅ = 1,87 см²). Наибольшая эффективность в подавлении развития грибковой колонии продемонстрирована при использовании препарата в норме 1,0 л/га, размер колонии в этом варианте был на 94,9 % меньше показателя контроля. Через 14 суток культивирования площадь зарастания мицелия *P. oryzae* в контрольном варианте достигла 46,13 см². Опытный препарат достоверно ограничивал рост колонии патогена во всех вариантах применения на 47,7–97,8 % (рис. 3).

В ходе исследования эффективности препарата против пирикулярриоза в вегетационных условиях были получены высокие результаты в борьбе с заболеванием. Обработка растений риса препаратом Ланцея в фазу цветения продемонстрировала значительное уменьшение распространения болезни по сравнению с контрольным образцом. При различных дозировках фунгицида снижение развития заболевания составило: 46,3 в концентрации 0,8 л/га; 43,9 (1,0 л/га); 39,1 % (1,2 л/га). Использование стандартного препарата Аканто Плюс (0,7 л/га) позволило снизить развитие пирикулярриоза на 38,6 % относительно контрольного варианта (табл. 1).

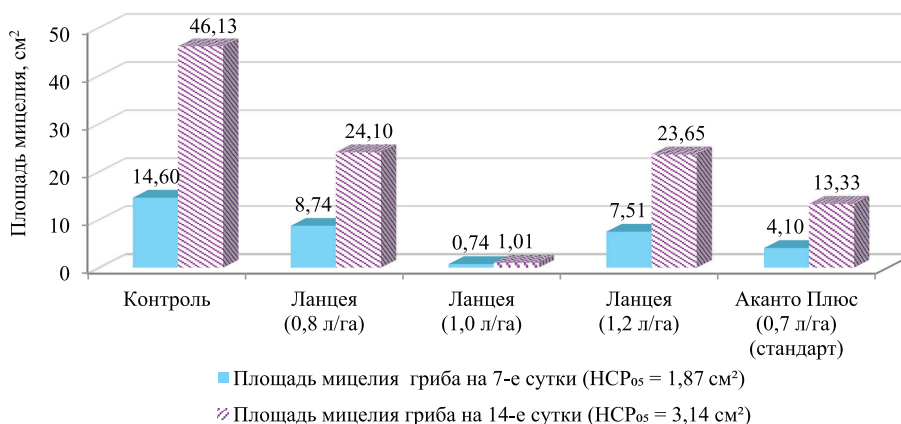


Рис. 3. Влияние фунгицидов на рост мицелия *Pyricularia oryzae* при внесении их на питательную среду
Fig. 3. Effect of fungicides on the growth of *Pyricularia oryzae* mycelium when added to the nutrient medium

Таблица 1. Оценка биологической эффективности фунгицидов против *Pyricularia oryzae* (среднее за 2021–2022 гг.)
Table 1. Estimation of biological efficiency of fungicides against *Pyricularia oryzae* (mean in 2021–2022)

Вариант	Фаза развития растения			Площадь под кривой, усл.ед.	Эффективность, %
	цветение	молочная спелость	восковая спелость		
	интенсивность развития болезни, %				
Контроль	57,3	47,8	36,9	3280,7	–
Ланцея (0,8 л/га)	11,0	8,6	8,7	748,5	77,2
Ланцея (1,0 л/га)	13,4	7,5	12,0	789,4	75,9
Ланцея (1,2 л/га)	18,2	15,6	18,0	1080,4	67,1
Аканто Плюс (0,7 л/га) (стандарт)	18,7	10,8	11,7	1004,2	69,4
НСР ₀₅	8,4	8,0	9,9	338,0	–

В ходе исследований было установлено, что препарат Ланцея эффективно защищает рис от пирикулярриоза не только в фазу цветения, но и в период молочной спелости зерна. В этот период снижение развития болезни составило: 39,2 % при дозировке 0,8 л/га; 40,3 (1,0 л/га); 32,2 % (1,2 л/га). Для сравнения: стандартный препарат Аканто Плюс (0,7 л/га) обеспечил снижение развития болезни на 37 % (табл. 1). Применение фунгицида в период ве-

гетации оказало влияние на развитие растений и их продуктивность. При использовании Ланцеи наблюдались положительные эффекты. Увеличение роста растений на 7,2 см (0,8 л/га); 8,6 см (1,0 л/га); 11,9 см (1,2 л/га). Препарат в нормах применения 1,0 и 1,2 л/га повысил показатель массы зерна с одного растения и массы 1000 семян на 7,56 г (0,8 л/га); 9,11 г (1,0 л/га); 7,95 г (1,2 л/га) (табл. 2).

Таблица 2. Структурные характеристики урожая риса под влиянием фунгицидов (среднее за 2021–2022 гг.)
Table 2. Structural characteristics of rice yield under the impact of fungicides (mean in 2021–2022)

Вариант	Показатель структуры урожая					
	высота растений, см	длина метелки, см	масса соломы, г/раст.	масса зерна, г/раст.	масса 1000 зерен, г	количество сохранившихся растений на сосуд, шт.
Контроль (инокулированный, без обработки фунгицидом)	99,5	16,5	1,59	1,18	20,57	12,4
Ланцея (0,8 л/га)	106,7*	16,6	1,64	1,37	28,13*	13,8
Ланцея (1,0 л/га)	108,1*	16,7	1,60	1,45*	29,68*	13,6
Ланцея (1,2 л/га)	111,4*	16,9	1,75	1,53*	28,52*	13,1
Аканто Плюс (0,7 л/га) (стандарт)	106,6*	17,3	1,89	1,55*	28,30*	13,0
НСР ₀₅	4,5	1,2	0,36	0,27	2,72	1,5

Примечание. * – достоверная разница с контролем.

Фунгицидная обработка посевов риса привела к значительному увеличению урожай-

ности. Во всех экспериментальных вариантах с применением Ланцеи были зафиксирова-

ны статистически достоверные прибавки урожая: 4,17 г при норме расхода 0,8 л/га; 5,08 г (1,0 л/га); 5,23 г (1,2 л/га) ($HCp_{05} = 2,93$ г/сосуд) (рис. 4).

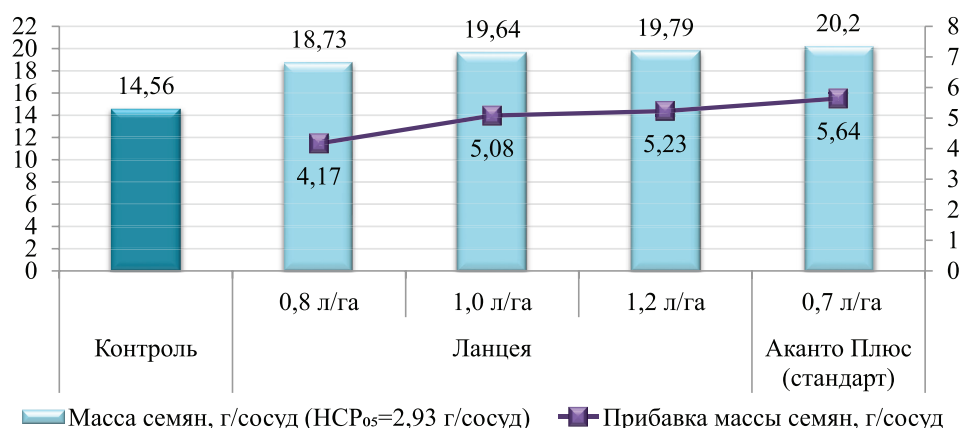


Рис. 4. Воздействие фунгицидов на урожайность риса (среднее за 2021–2022 гг.)
Fig. 4. Effect of fungicides on rice productivity (men in 2021–2022)

Таким образом, препарат не только эффективно защищает растения от болезни, но и способствует их более активному росту и повышению урожайности.

Выводы. В результате проведенных исследований в Приморском крае была подтверждена высокая ингибирующая активность нового фунгицида Ланцея в борьбе с пирикулярриозом риса. Важно отметить следующие ключевые моменты.

1. Препарат продемонстрировал положительные результаты как в лабораторных условиях, так и в ходе вегетационных опытов.

2. Фунгицид безопасен для культуры: отсутствуют фитотоксическое действие и ретардантный эффект на растения риса.

3. Отмечено положительное воздействие применения препарата: улучшение показателей структуры урожая, существенное увеличе-

ние объема урожая – на 4,17–5,23 г/сосуд относительно контроля.

4. Установлены оптимальные дозировки: максимальная биологическая эффективность 77,2 и 75,9% достигается при использовании препарата в дозировках 0,8 и 1,0 л/га соответственно.

Эти результаты позволяют рекомендовать фунгицид Ланцея как эффективное средство защиты риса от пирикулярриоза с благоприятным профилем безопасности и высокой практической эффективностью.

Финансирование. Государственное задание № 075-00804-22-00/3 Дальневосточному научно-исследовательскому институту защиты растений – филиалу Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки».

Библиографический список

- Бондарева Т. Н., Дмитренко Н. Н., Шеуджен А. Х. Влияние воздушно-теплового обогрева и обогащения Mn семян риса на рост, развитие и фотосинтез растений // Агрехимия. 2005. № 10. С. 53–58.
- Брагина О. А. Идентификация источников устойчивости риса к пирикулярриозу // Растениеводство и луговодство: сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием (Москва, 18–19 октября 2020 года). М.: ЭйПиСиПублишинг, 2020. С. 135–138.
- Брагина О. А., Красовский Д. Г. Демонстрационные испытания фунгицидов при защите посевов риса от пирикулярриоза в условиях Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 91. С. 41–45. DOI: 10.21515/1999-1703-91-41-45
- Брагина О. А., Оглы А. М., Бородин Д. Ю. Результаты демонстрационных испытаний фунгицида Амистар Топ при защите риса от пирикулярриоза // Рисоводство. 2022. № 1(54). С. 41–45. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-54-1-41-45
- Галицына Д. Г., Дмитренко Н. Н. Система защиты риса от пирикулярриоза в Красноармейском районе // The Scientific Heritage. 2022. № 96(96). С. 7–10. DOI: 10.5281/zenodo.7049511
- Коротенко Т. Л., Брагина О. А., Супрун И. И., Мухина Ж. М., Епифанович Ю. В., Петрухненко А. А., Хорина Т. А. Резистентность к возбудителю пирикулярриоза и морфобиологические особенности генотипов коллекции *Oryza sativa* L. из разных эколого-географических групп в условиях Кубанской зоны рисосеяния // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 1. С. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333
- Романова Т. С., Аверьянов А. А., Пасечник Т. Д., Лапикова В. П., Бейкер К. Д. Устойчивость риса к пирикулярриозу, вызванная поверхностным увлажнением листьев перед заражением // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 3. С. 431–436.
- Сидоров Н. М., Астахов М. М., Асатурова А. М., Дубяга В. М., Томашевич Н. С., Козицын А. Е. Первичный скрининг бактерий, обладающих фунгицидной активностью к возбудителю пирикуляр-

риоза риса *Magnaporthe oryzae* // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 8. С. 47–52. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_47

References

1. Bondareva T. N., Dmitrenko N. N., Sheudzhen A. X. Vliyanie vozdušno-teplovogo obogreva i obogashcheniya Mn semyan risa na rost, razvitie i fotosintez rastenii [The effect of air-thermal heating and enrichment of rice seeds with Mn on growth, development and plant photosynthesis] // Agrokimiya. 2005. № 10. S. 53–58.
2. Bragina O. A. Identifikatsiya istochnikov ustoichivosti risa k pirikulyariozu [Identification of sources of rice blast resistance] // Rasteniyevodstvo i lugovodstvo: sbornik statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Moskva, 18–19 oktyabrya 2020 goda). M.: EiPiSiPublishing, 2020. S. 135–138.
3. Bragina O. A., Krasovskii D. G. Demonstratsionnye ispytaniya fungitsidov pri zashchite posevov risa ot pirikulyarioza v usloviyakh Krasnodarskogo kraia [Demonstration tests of fungicides in protecting rice from blast in the Krasnodar Territory] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 91. S. 41–45. DOI: 10.21515/1999-1703-91-41-45
4. Bragina O. A., Ogly A. M., Borodin D. Yu. Rezul'taty demonstratsionnykh ispytaniy fungitsida Amistar Top pri zashchite risa ot pirikulyarioza [The results of demonstration tests of the fungicide 'Amistar Top' in protecting rice from blast] // Risovodstvo. 2022. № 1(54). S. 41–45. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-54-1-41-45
5. Galitsyna D. G., Dmitrenko N. N. Sistema zashchity risa ot pirikulyarioza v Krasnoarmeiskom raione [Rice protection system from blast in the Krasnoarmeysky district] // The Scientific Heritage. 2022. № 96(96). S. 7–10. DOI: 10.5281/zenodo.7049511
6. Korotenko T. L., Bragina O. A., Suprun I. I., Mukhina Zh. M., Epifanovich Yu. V., Petrukhnenko A. A., Khorina T. A. Rezistentnost' k vozбудитelyu pirikulyarioza i morfobiologicheskie osobennosti genotipov kolleksii *Oryza sativa* L. iz raznykh ekologogeograficheskikh grupp v usloviyakh Kubanskoi zony risoseyaniya [Blast pathogen resistance and morphobiological features of the genotypes of the *Oryza sativa* L. collection from different ecogeographical groups in the Kuban rice-growing area] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2018. Т. 22, № 1. S. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333
7. Romanova T. S., Aver'yanov A. A., Pasechnik T. D., Lapikova V. P., Beiker K. D. Ustoichivost' risa k pirikulyariozu, vyzvannaya poverkhnostnym uvlazhneniem list'ev pered zarazheniem [Rice resistance to blast caused by surface moistening of leaves before infection] // Fiziologiya rastenii. 2009. Т. 56. № 3. S. 431–436.
8. Sidorov N. M., Astakhov M. M., Asaturova A. M., Dubyaga V. M., Tomashevich N. S., Kozitsyn A. E. Pervichnyi skrining bakterii, obladayushchikh fungitsidnoi aktivnost'yu k vozбудитelyu pirikulyarioza risa *Magnaporthe oryzae* [Primary screening of bacteria with fungicidal activity against the rice blast pathogen *Magnaporthe oryzae*] // Dostizheniya nauki i tekhniki АПК. 2023. Т. 37, № 8. С. 47–52. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_47

Поступила: 07.05.25; доработана после рецензирования: 06.06.25; принята к публикации: 06.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Безмукто С. В., Выборова Т. А. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка лабораторных и вегетационных опытов, выполнение лабораторных и вегетационных опытов, сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ «ФИЦ «НЕМЧИНОВКА» К СЕПТОРИОЗУ ЛИСТЬЕВ И КОЛОСА

Б. И. Сандухадзе, главный научный сотрудник, профессор, академик РАН, sanduchadze@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7184-7645;

Р. З. Мамедов, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, кандидат сельскохозяйственных наук, mam-ramin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2473-4538;

М. С. Крахмалева, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, кандидат сельскохозяйственных наук, korovushkina.mar@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0861-1514;

В. В. Бугрова, sanduchadze@mail.ru, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, ORCID ID: 0009-0001-5730-7826;

С. В. Соболев, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, кандидат сельскохозяйственных наук, monblan8@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-3144-4495;

Я. С. Молодовский, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, ja.molodovsky@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-0314-5245

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФИЦ «Немчиновка», 143026, Московская обл., г. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агротехников, д. 6

Создание устойчивых сортов озимой мягкой пшеницы к наиболее вредоносным заболеваниям, характерным для конкретной зоны выращивания, считается важным направлением селекционной работы. Септориоз листьев и септориоз колоса являются одними из наиболее опасных и распространенных заболеваний пшеницы в Центральном регионе РФ. Целью работы была оценка сортов образцов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» по степени поражения септориозом листьев и колоса (%) в 2019–2024 гг. по данным конкурсного сортоиспытания и контрольного питомника. Выявлено, что по годам исследования средняя степень поражения сортов образцов различалась от 13,5 до 47,0 % по септориозу листьев, от 0 до 12,3 % – по септориозу колоса. Наименьшее поражение обеими болезнями отмечено в 2022 г., когда средняя температура в июне и июле была выше среднемноголетней на 1,8 и 2,4 °С соответственно, а сумма осадков было значительно ниже среднемноголетних значений, поражение септориозом листьев среднее – 13,5 % (от 3,2 до 28,4 %), септориозом колоса – 0 % (от 0 до 0,07 %). Среди сортов по устойчивости к септориозу листьев и колоса выделялся сорт Московская 28, поражение 20,10 % (R) и 2,78 % (RR) соответственно. В целом все изученные сорта были высоко устойчивыми к септориозу колоса (поражаемость <11 %), а к септориозу листьев, за исключением Московской 28, сорта были умеренно восприимчивыми (поражаемость 21–40 %). Сорт Московская 28 можно использовать в скрещиваниях в качестве исходного материала на устойчивость к септориозу листьев и колоса, а также в производстве органически чистого зерна пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, септориоз листьев, септориоз колоса.

Для цитирования: Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В., Соболев С. В., Молодовский Я. С. Оценка устойчивости сортов и линий озимой пшеницы «ФИЦ «Немчиновка» к септориозу листьев и колоса // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 90–96. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-90-96.



ESTIMATION OF LEAF AND EAR BLOTCH RESISTANCE OF THE “FRC “NEMCHINOVKA” WINTER WHEAT VARIETIES AND LINES

B. I. Sandukhadze, main researcher, academician of RAS, sanduchadze@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7184-7645;

R. Z. Mamedov, head of the laboratory of breeding and primary seed production of winter wheat, Candidate of Agricultural Sciences, mam-ramin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2473-4538;

M. S. Krakhmaleva, leading researcher of the laboratory of breeding and primary seed production of winter wheat, Candidate of Agricultural Sciences, korovushkina.mar@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0861-1514;

V. V. Bugrova, sanduchadze@mail.ru, senior researcher of the laboratory of breeding and primary seed production of winter wheat, ORCID ID: 0009-0001-5730-7826;

S. V. Sobolev, leading researcher of the laboratory of breeding and primary seed production of winter wheat, Candidate of Agricultural Sciences, monblan8@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-3144-4495;

Ya. S. Molodovsky, senior researcher of the laboratory of breeding and primary seed production of winter wheat, ja.molodovsky@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-0314-5245

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Research Center «Nemchinovka» (FRC “Nemchinovka”), 143026, Moscow region, Odintsovsky region, Odintsovsky district, v. of Novoivanovskoe, Agrotikhimikov Str., 6

The development of winter common wheat varieties resistant to the most harmful diseases characteristic of a specific growing area is considered important for breeding work. Leaf and ear blotch are among the most dangerous and widespread wheat diseases in the Central region of the Russian Federation. The purpose of the current work was to estimate winter common wheat varieties developed by the FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka" according to the degree of damage by leaf and ear blotch (%) in 2019–2024 based on the competitive variety testing and a control nursery. There has been found that by the years of the study, the mean damage degree of the variety samples varied from 13.5 to 47.0 % for leaf blotch, from 0 to 12.3 % for ear blotch. The lowest damage by both diseases was observed in 2022, when the mean temperature in June and July was 1.8 and 2.4 °C higher than the long-term average, respectively, and the amount of precipitation was significantly lower than the long-term average, leaf blotch damage was 13.5 % on average (from 3.2 to 28.4 %), and ear blotch damage was 0 % (from 0 to 0.07 %). Among the varieties, the variety 'Moskovskaya 28' was the best in terms of leaf and ear blotch resistance, with damage of 20.10 % (R) and 2.78 % (RR), respectively. In general, all studied varieties were highly resistant to ear blotch (damage degree <11 %), and moderately resistant to leaf blotch (damage degree 21–40 %), excluding the variety 'Moskovskaya 28'. The variety 'Moskovskaya 28' can be used in crossbreeding as an initial material for leaf and ear blotch resistance, as well as in the production of organic wheat grain.

Keywords: winter wheat, variety, leaf blotch, ear blotch.

Введение. В Центральном регионе РФ основные площади посевов озимой мягкой пшеницы занимают сорта селекции ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка». Значительную эпидемическую опасность для производственных посевов данной культуры представляет септориоз листьев и колоса. Потери урожая зерна от этих заболеваний при благоприятных для возбудителя условиях достигают 20–30 % и более (Санин и др., 2012).

Септориоз пшеницы – одно из широко распространенных и опасных по экологическим и экономическим последствиям заболеваний. Род *Septoria* чрезвычайно велик, и в течение последних 150 лет к нему было отнесено более двух тысяч видов. Наиболее вредоносными для пшеницы являются два вида: 1) *Septoria tritici* Desm., современное название – *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous; 2) *Stagonospora nodorum* (Berk.) синонимы: *Septoria nodorum* (Berk.) и *Parastagonospora nodorum* (Berk.) (<http://www.mycobank.org>).

Более 70 % фунгицидов в Европе применяется для защиты пшеницы только от септориоза листьев (Fones and Gurr, 2015). В России септориоз начал прогрессировать с 1970-х гг. и сейчас распространился почти на все регионы возделывания *Triticum aestivum* L., доминируя среди грибных заболеваний пшеницы (Коломиец и др., 2017; Торопова и др., 2021). При септориозе уменьшается ассимиляционная поверхность листьев, снижается их фотосинтетическая активность, наблюдаются усыхание, излом стеблей и недоразвитость колосов. Сильное поражение приводит к снижению массы 1000 зерен, отсутствию семян в колосе и даже полной гибели растений, в годы эпифитотий потери могут достигать 40 % (Коломиец и др., 2017; Санин и др., 2012). Оптимальными условиями, способствующими заражению, являются температура от 15 до 20 °C с частыми осадками, за которыми следует не менее шести часов влажности листьев или росы.

Приоритетным направлением в защите растений от данных и других патогенов является создание устойчивых сортов, что позволяет снизить применение химических фунгицидов и служит задачам экологизации сельского хозяйства.

Отечественные фитопатологи и селекционеры ведут постоянный поиск сортов и линий с высокими иммунологическими и другими селекционно-ценными свойствами (Левакова и Костаньянц, 2022; Пахолкова и др., 2022; Сибикеев и др., 2022; Varanova et al., 2023). В производстве должны преимущественно возделываться сорта пшеницы с долговременной неспецифической устойчивостью (Харина и Шешегова, 2021).

В Федеральном исследовательском центре «Немчиновка» проводится селекционная работа по созданию новых, адаптированных к условиям Центрального района РФ урожайных сортов озимой пшеницы. Один из критериев отбора перспективных для региона сортов – их устойчивость к наиболее опасным болезням, в том числе септориозу листьев и колоса. Знание уровня устойчивости собственного селекционного материала и сортов к септориозу является актуальной задачей для селекционеров.

Целью исследования была оценка интенсивности развития септориоза листьев и колоса у сортов и линий озимой мягкой пшеницы по шести годам исследования (2019–2024 гг.) и выявление устойчивых к этим заболеваниям сортов.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» на полях исследовательского центра, оценку развития болезней проводили специалисты ФГБНУ ВНИИФ.

Размер опытных делянок 10 м², повторность четырехкратная в конкурсном сортоиспытании, в контрольном питомнике – без повторений. Наблюдения вели на естественном инфекционном фоне. Иммунологической оценке были подвергнуты сортообразцы конкурсного сортоиспытания и контрольного питомника, по годам исследования количество изученных номеров различалось. В фазу молочной спелости (ф. 75) провели учет интенсивности проявления септориоза листьев, в фазу восковой спелости (ф. 85) – проявления септориоза колоса. В эти фазы развитие данных инфекций пшеницы достигает, как правило, максималь-

ных значений. Для оценки сортов пшеницы к возбудителям пятнистостей в полевых условиях использовали модифицированную и дополненную шкалу Саари–Прескотта. По данной методике все сорта, находящиеся в испытании, были разделены на 5 групп: RR – высоко устойчивые (поражаемость <11 %); R – устойчивые (поражаемость 11–20 %); MS – умеренно восприимчивые (поражаемость 21–40 %); S – восприимчивые (поражаемость 41–70 %); HS – высоко восприимчивые (поражаемость 71–100 %).

Обобщенные данные за 6 лет испытаний были сгруппированы по отдельным заболеваниям в сравнении с пораженностью эталонных сортов, проявивших максимальную восприимчивость к септориозу листьев и колоса. Эталонным для септориоза листьев был сорт Московская 39, для септориоза колоса – Немчиновская 14. В таблице 2 сорта представ-

лены в порядке убывания устойчивости к той или иной болезни.

Погодные условия во многом определяют комплекс болезней озимой пшеницы, интенсивность их развития и, соответственно, нанесенный урон урожаю. В июне и июле в период формирования и налива зерна наблюдается наибольшее развитие септориоза листьев и колоса.

По годам исследования температурный режим в июне и июле был различным (рис. 1). В июне значительное превышение среднемноголетних значений отмечено во все годы исследования, за исключением 2023-го, где температура была ниже среднемноголетней на 1–16 °С. В июле превышение среднемноголетних температур было отмечено в 2021, 2022 и 2024 гг., 22,2; 20,5 и 22,0 °С соответственно. Напротив, в 2019 и 2023 гг. средняя температура воздуха в июле была ниже среднемноголетней на 1,5 и 0,4 °С – 16,6 и 17,7 °С соответственно.

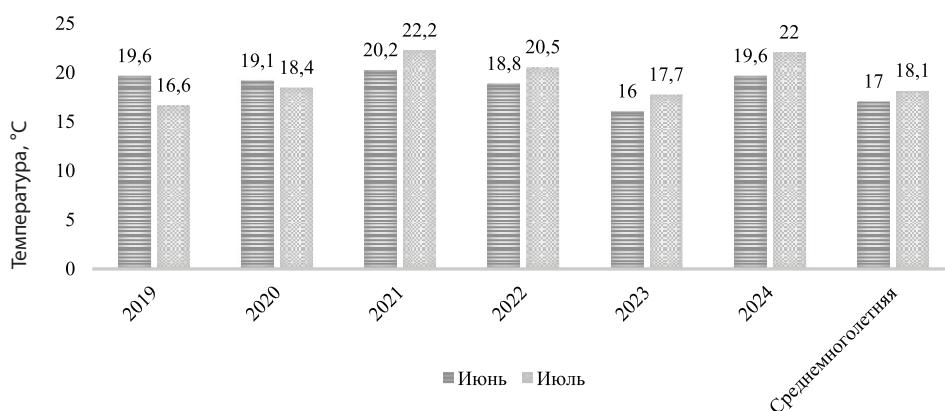


Рис. 1. Температурный режим (°С) в июне и июле (2019–2024 гг.)

Fig. 1. Temperature regime (°C) in June and July (2019–2024)

По количеству выпавших осадков в июне и июле 2019–2024 гг. наблюдалась дифференциация (рис. 2). Так, в 2022 г. был сильный дефицит осадков в июне – 36,2 мм при среднемноголетнем количестве 75,9 мм, в июле сильная засуха отмечена в 2019 и 2021 гг. – 41,3 и 37,8 мм при среднемноголетнем количестве 85,8 мм.

Превышение над среднемноголетними значениями отмечено в 2020 г., где в июне и июле выпало практически две нормы осадков, полегание всех сортообразцов достигало 90 %. Также в июле 2023 г. выпало 151,2 мм дождя и в июне 2024 г. – 131,3 мм, практически в 2 раза больше среднемноголетних значений.



Рис. 2. Сумма осадков (мм) в июне и июле (2019–2024 гг.)

Fig. 2. Precipitation amount (mm) in June and July (2019–2024)

Результаты и их обсуждение. При оценке линий и сортов контрольного питомника и конкурсного сортоиспытания развитие септориоза листьев и колоса значительно различалось по годам исследования (табл. 1). Наименьшее поражение септориозом листьев и колоса отмечено в 2022 г. – 13,5 и 0 % соответственно, температурный режим немного превышал среднеголетние значения (на 1,8 и 2,4 °С), а количество осадков было низ-

ким (36,2 и 63,1 мм при среднеголетних значениях 75,9 и 85,8 мм). В 2020 г. было выявлено наибольшее поражение септориозом листьев – в среднем по сортообразцам 47,0 % (по причине сильного полегания посевов и большого количества осадков в июне и июле), а септориоз колоса наиболее сильно проявился в 2019 и 2024 гг. – 12,3 % и 11,1 % соответственно.

Таблица 1. Оценка интенсивности развития болезней в контрольном питомнике и конкурсном сортоиспытании (2019–2024 гг.)
Table 1. Estimation of disease intensity in the control nursery and competitive variety testing (2019–2024)

Год	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Число сортообразцов	56	69	380	60	108	217
Септориоз листьев, %	38,5* 19,8–60,0**	47,0 21,6–65	33,8 18,6–53,8	13,5 3,2–28,4	31,7 9,4–76,3	18,1 2,7–42,6
Септориоз колоса, %	12,3 3,4–25,5	6,44 0,4–15,7	4,0 0,4–15,7	0 0–0,07	1,00 0–4,6	11,1 0–43

Примечание. * – среднее; ** – лимиты.

Сорта и линии конкурсного сортоиспытания и контрольного питомника были разделены по группам поражения (шкала Саари – Прескотта). Было выявлено, что в 2019, 2020, 2021 и 2023 гг. у большинства сортов и линий поражение септориозом листьев составило от 21 до 40 % (MS) (рис. 3). В 2022 и 2024 гг. у большей части сортообразцов поражение

отмечено в диапазоне 11–20 % (R). Также в эти годы в изучаемых питомниках было выделено значительное количество высоко устойчивых образцов (RR) – 35 и 25,8 % соответственно. При этом по всем годам исследования практически полностью отсутствовали сорта и линии с поражением выше 71 % (HS).

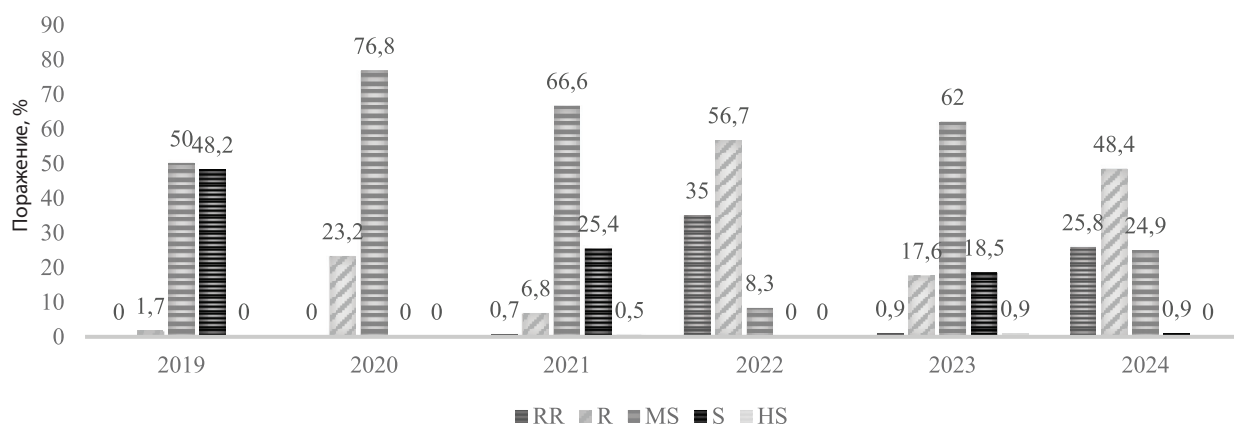


Рис. 3. Распределение сортообразцов (%) по степени поражения септориозом листьев (2019–2024 гг.)
Fig. 3. Distribution of variety samples (%) according to the degree of leaf blotch damage (2019–2024)

Поражение септориозом колоса было значительно ниже, чем септориозом листьев (рис. 4). В 2022 и 2023 гг. все сортообразцы были высоко устойчивыми (RR), в 2020 и 2021 гг. распределение было практически идентичным, доля образцов с поражением ниже 11 % составила 95,7 и 99,5 % соответственно. В 2019 и 2024 гг. доля устойчивых сортов и линий с поражением 11–20 % было соответственно 53,6 и 44,7 %.

Для рассмотрения сортовых различий по степени поражения септориозом ли-

стьев и колоса были выбраны районированные, широко возделываемые в производстве сорта Немчиновская 24, Немчиновская 85, Московская 40, Немчиновская 17, Московская 56, Немчиновская 57 и Московская 39, а также новые сорта, проходящие Государственное сортоиспытание, – Московская 28 и Немчиновская 14. По устойчивости к септориозу листьев выделялся сорт Московская 28, средний уровень поражения по годам исследования составил 20,1 % (R) (табл. 2). По остальным сортам этот по-

казатель имел близкие значения: от 26,8 % у сорта Немчиновская 24 до 33,2 % у сорта Немчиновская 57, сорта умеренно восприимчивые (MR), поражаемость 21–40 %.

При оценке поражения сортов озимой пшеницы немчиновской селекции септориозом ко-

лоса выявлено, что все они являются высоко устойчивыми (RR). В среднем по сортам поражение колебалось от 3,2 % у сорта Московская 56 до 8,06 % у сорта Немчиновская 14. Наиболее устойчивым сортом была Московская 28 – 2,78 % поражения.

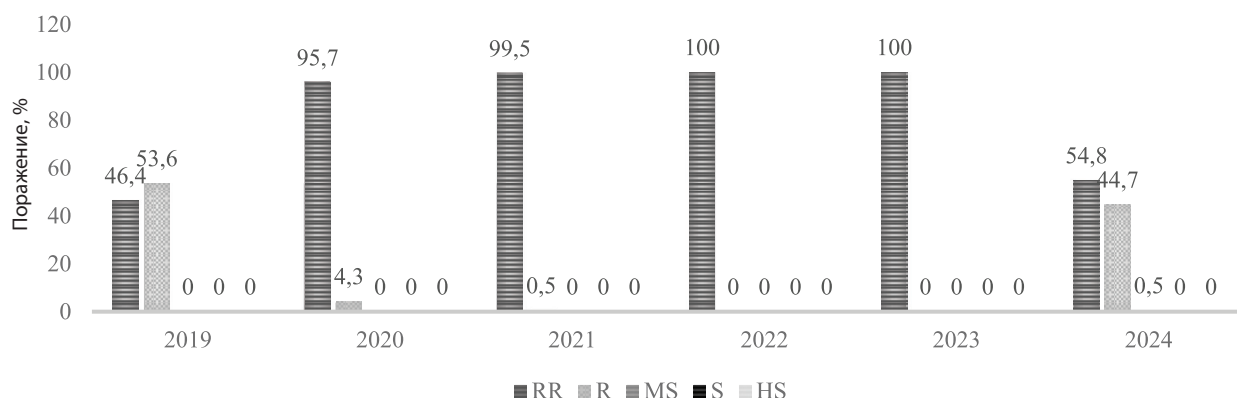


Рис. 4. Распределение сортообразцов (%) по степени поражения септориозом колоса (2019–2024 гг.)
Fig. 4. Distribution of variety samples (%) according to the degree of ear blotch damage (2019–2024)

Таблица 2. Развитие септориоза листьев и колоса на сортах озимой пшеницы немчиновской селекции (2019–2024 гг.)
Table 2. Development of leaf and ear blotch on the “FRC “Nemchinovka” winter wheat varieties (2019–2024)

№ сорта по рейтингу устойчивости к болезни	Сорт	Варьирование развития по годам, %	Среднее развитие болезни, %	Меньше эталона, %
Септориоз листьев, фаза 75				
1	Московская 28	11,4–37,8	20,1 (R)	10,6
2	Немчиновская 24	8,6–37,8	21,9 (MR)	8,8
3	Немчиновская 14	4,2–34,3	22,5 (MR)	8,2
4	Немчиновская 85	9,2–47,3	22,7 (MR)	8,0
5	Московская 40	4,5–37,5	22,8 (MR)	7,9
6	Немчиновская 17	16,7–37,1	25,0 (MR)	5,7
7	Московская 56	10,5–43,5	25,1 (MR)	5,6
8	Немчиновская 57	14,4–42,8	27,5 (MR)	3,2
9	Московская 39 (эталон)	3,2–50,8	30,7 (MR)	–
Септориоз колоса, фаза 85				
1	Московская 28	0–7,0	2,78 (RR)	5,28
2	Московская 56	0,01–10,1	3,20 (RR)	4,86
3	Московская 39	0,01–12,0	3,44 (RR)	4,62
4	Немчиновская 57	0–15,0	4,37 (RR)	3,69
5	Немчиновская 17	0,2–14,0	4,69 (RR)	3,37
6	Немчиновская 85	0–16,0	4,77 (RR)	3,29
7	Московская 40	0,02–18,0	5,54 (RR)	2,52
8	Немчиновская 24	0,05–21,0	6,72 (RR)	1,34
9	Немчиновская 14 (эталон)	0,01–28,5	8,06 (RR)	–

Выводы. Степень поражения септориозом листьев и колоса сортов и линий озимой пшеницы значительно различалась по годам исследования. Наименьшее поражение обоими заболеваниями отмечено в 2022 году. По годам исследования все изученные сорта были высоко устойчивыми к септориозу колоса (поражаемость <11 %), к септориозу листьев, за исключением Московской 28, сорта были умеренно восприимчивыми (поражаемость 21–40 %). Сорт Московская 28 выделяется по устойчиво-

сти к септориозу листьев и колоса и может быть использован для производства при органическом земледелии и в скрещиваниях для передачи устойчивости другим сортам.

Благодарности. Выражаем благодарность специалистам ВНИИ фитопатологии за произведенную оценку сортообразцов.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института. Регистрационный номер темы научного исследования 1021052104115-3-4.1.6.

Библиографический список

1. Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорты пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции Грин (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к *Septoria tritici blotch* // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3. С. 561–569. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.561rus
2. Левакова О. В., Костаньянц М. И. Устойчивость сортов пшеницы озимой к основным болезням в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 2(66). С. 22–27. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-20-25
3. Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н., Панкратова Л. Ф., Коломиец Т. М. Иммунологическая оценка сортов яровой пшеницы селекции Касиб на устойчивость к возбудителю септориоза колоса *Parastagonospora nodorum* // Биосфера. 2022. № 14(4). С. 355–358. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696
4. Санин С. С., Санина А. А., Мотовилин А. А., Пахолкова Е. В., Корнева Л. Г., Жохова Т. П., Полякова Т. М. Защита пшеницы от септориоза // Защита и карантин растений. 2012. № 4. С. 61–82.
5. Сибикеев С. Н., Гулятьева Е. И., Друзин А. Е., Андреева Л. В. Влияние транслокации 7DL-7Ae#1L-7Ae#1S на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 6. С. 537–543. DOI: 10.18699/VJGB-22-65
6. Торопова Е. Ю., Воробьева И. Г., Стецов Г. Я., Казакова О. А., Кириченко А. А. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 6. С. 25–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10605
7. Харина А. В., Шешегова Т. К. Поиск устойчивого к септориозу исходного материала яровой мягкой пшеницы и анализ наследования признака // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22(2). С. 212–222. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222
8. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Sibikeev S. Evaluation of resistance to stem rust and identification of Sr genes in Russian spring and winter wheat cultivars in the Volga region // Agriculture. 2023. Vol. 13(3), Article number: 635.
9. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici blotch* disease on wheat: An EU perspective // Fungal Genetics and Biology. 2015. Vol. 79. P. 3–7. DOI: 10.1016/j.fgb.2015.04.004
10. Mycobank [Internet resource]. URL: <http://www.mycobank.org> (Accessed: 21.01.20).

Reference

1. Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Sorta pshenitsy (*Triticum* L.) iz kollektzii Grin (SShA) dlya ispol'zovaniya v selektsii na dlitel'nuyu ustoichivost' k *Septoria tritici blotch* [Wheat varieties (*Triticum* L.) from the Green collection (USA) for use in breeding for long-term resistance to *Septoria tritici blotch*] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2017. № 3. S. 561–569. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.561rus
2. Levakova O. V., Kostan'yants M. I. Ustoichivost' sortov pshenitsy ozimoi k osnovnym boleznyam v lesostepnoi agroklimaticheskoi zone Ryazanskoj oblasti [Resistance of winter wheat varieties to major diseases in the forest-steppe agroclimatic zone of the Ryazan region] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. T. 17, № 2(66). S. 22–27. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-20-25
3. Pakholkova E. V., Sal'nikova N. N., Pankratova L. F., Kolomiets T. M. Immunologicheskaya otsenka sortov yarovoi pshenitsy selektsii Kasib na ustoichivost' k vozbuditelyu septorioza kolosa *Parastagonospora nodorum* [Immunological estimation of spring wheat varieties of Kasib breeding for resistance to the causative agent of leaf blotch (*Parastagonospora nodorum*)] // Biosfera. 2022. № 14(4). S. 355–358. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696
4. Sanin S. S., Sanina A. A., Motovilin A. A., Pakholkova E. V., Korneva L. G., Zhokhova T. P., Polyakova T. M. Zashchita pshenitsy ot septorioza [Wheat protection from blotch] // Zashchita i karantin rastenii. 2012. № 4. S. 61–82.
5. Sibikeev S. N., Gul'tyaeva E. I., Druzhin A. E., Andreeva L. V. Vliyanie translokatsii 7DL-7Ae#1L-7Ae#1S na produktivnost' i kachestvo zerna yarovoi myagkoi pshenitsy [The effect of the 7DL-7Ae#1L-7Ae#1S translocation on productivity and grain quality of spring common wheat] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 6. S. 537–543. DOI: 10.18699/VJGB-22-65
6. Toropova E. Yu., Vorob'eva I. G., Stetsov G. Ya., Kazakova O. A., Kirichenko A. A. Fitosanitarnyi monitoring i kontrol' fitopatogenov yarovoi pshenitsy [Phytosanitary monitoring and control of spring wheat phytopathogens] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021. T. 35, № 6. S. 25–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10605
7. Kharina A. V., Sheshegova T. K. Poisk ustoichivogo k septoriozu iskhodnogo materiala yarovoi myagkoi pshenitsy i analiz nasledovaniya priznaka [Search for blotch resistant initial material of spring common wheat and analysis of the inheritance of a trait] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. № 22(2). S. 212–222. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.212-222
8. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Sibikeev S. Evaluation of resistance to stem rust and identification of Sr genes in Russian spring and winter wheat cultivars in the Volga region // Agriculture. 2023. Vol. 13(3), Article number: 635.
9. Fones H., Gurr S. The impact of *Septoria tritici blotch* disease on wheat: An EU perspective // Fungal Genetics and Biology. 2015. Vol. 79. P. 3–7. DOI: 10.1016/j.fgb.2015.04.004
10. Mycobank [Internet resource]. URL: <http://www.mycobank.org> (Accessed: 21.01.20).

Поступила: 03.04.25; доработана после рецензирования: 06.05.25; принята к публикации: 03.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Сандухадзе Б. И. – концептуализация исследования; Мамедов Р. З. – подготовка опыта; Соболев С. В., Молодовский Я. С. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Бугрова В. В. – анализ данных и их интерпретация; Крахмалева М. С. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РАЗНООБРАЗИЕ ВОЗБУДИТЕЛЯ ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЫ ПО ВИРУЛЕНТНОСТИ НА СОРТАХ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Е. И. Гульятеева¹, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, eigulyaeva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

Л. А. Беспалова², доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, bespalova_l_a@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0245-7835;

И. Б. Аблова², доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая лабораторией селекции на устойчивость к болезням отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, ablova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-3454-9988;

Е. Л. Шайдаюк¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, eshaydayuk@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

Ю. Г. Левченко², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции на устойчивость к болезням отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, levchenko_j@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-4605-6942

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», 196608, г. Санкт-Петербург, в. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: info@vizr.spb.ru;

²ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко», 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ; e-mail: kniish@kniish.ru

Желтая ржавчина (возбудитель *Puccinia striiformis* West.) – экономически значимое заболевание пшеницы на Северном Кавказе, вредоносность которого нарастает в последнее десятилетие. Информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена необходима для успешной генетической защиты пшеницы. Цель данных исследований – охарактеризовать вирулентность и расовый состав *P. striiformis* на генетически разнообразных сортах озимой мягкой пшеницы, возделываемых в Краснодарском крае. Объектом исследования служили листья с урединопустулами *P. striiformis*, собранные в Краснодарском крае в 2021–2024 гг. с 16 сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко. Всего получено 53 монопустульных изолята. Вирулентность оценивали с использованием 29 тестеров вирулентности: 14 изогенных линий сорта Avocet (AvNIL) и 15 сортов-дифференциаторов. Высокой эффективностью в регионе характеризовались гены Yr5, Yr10, Yr15, Yr24 и Yr26, и они рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. 16 фенотипов (рас) определено в изученной коллекции изолятов *P. striiformis* при тестировании на полном наборе из 29 дифференциаторов и 10 рас на 15 международных сортах-дифференциаторах. Для большинства сортов определено поражение оригинальным фенотипом, что обуславливает повышенное разнообразие краснодарской популяции *P. striiformis*. При этом анализ генетических расстояний между фенотипами вирулентности не выявил существенных различий между ними, что предполагает существование единой клональной популяции патогена на данной территории. Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* обуславливает проведение ежегодного мониторинга вирулентности и расового состава популяции патогена и поиск новых эффективных доноров устойчивости для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине.

Ключевые слова: вирулентность, Yr-гены, *Puccinia striiformis* f. sp. tritici, *Triticum aestivum*.

Для цитирования: Гульятеева Е. И., Беспалова Л. А., Аблова И. Б., Шайдаюк Е. Л., Левченко Ю. Г. Разнообразие возбудителя желтой ржавчины по вирулентности на сортах озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 97–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-97-104.



VARIABILITY OF YELLOW RUST PATHOGEN ACCORDING TO VIRULENCE ON WINTER COMMON WHEAT VARIETIES IN KRASNODAR TERRITORY

E. I. Gulyaeva¹, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for mycology and phytopathology, eigulyaeva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7948-0307;

L. A. Bespalova², Doctor of Agricultural Sciences, academician of RAS, head of the department of wheat and triticale breeding and seed production, bespalova_l_a@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0245-7835;

I. B. Ablova², Doctor of Agricultural Sciences, academician of RAS, head of the laboratory for breeding on disease resistance in the department of wheat and triticale breeding and seed production, ablova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-3454-9988;

E. L. Shaydayuk¹, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for mycology and phytopathology, eshaydayuk@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3266-6272;

Yu. G. Levchenko², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding on disease resistance in the department of wheat and triticale breeding and seed production, levchenko_j@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-4605-6942

¹FSBSI All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 196600, Saint-Petersburg, Pushkin, Podbelskiy Sh., 3; e-mail: info@vizr.spb.ru;

²FSBSI "National Center of grain named after P.P. Lukyanenko", 350012, Krasnodar-12, Central estate of KRIA; e-mail: kniish@kniish.ru

Yellow rust (pathogen *Puccinia striiformis* West.) is an economically significant wheat disease in the North Caucasus, the harmfulness of which has been increasing in the last decade. Information on the efficiency of resistance genes and the racial composition of the pathogen is necessary for successful genetic protection of wheat. The purpose of the current study was to characterize the virulence and racial composition of *P. striiformis* on genetically diverse varieties of winter common wheat grown in the Krasnodar Territory. The study objects were leaves with urediniopustules of *P. striiformis* collected in 2021–2024 from 16 winter common wheat varieties developed by the National Center of grain named after P.P. Lukyanenko in the Krasnodar Territory. There has been obtained a total of 53 single pustule isolates. Virulence was assessed using 29 virulence testers, namely 14 isogenic lines of the variety 'Avocet' (AvNIL) and 15 differentiator varieties. The genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* and *Yr26* were characterized by high efficiency in the region, and they are recommended for breeding for yellow rust resistance. There were identified 16 phenotypes (races) in the studied collection of *P. striiformis* isolates when tested a full set of 29 differentiators and 10 races on 15 international differentiator varieties. For most varieties, there has been established an attack by an original phenotype, which determines the increased diversity of the Krasnodar population of *P. striiformis*. At the same time, the analysis of genetic distances between virulence phenotypes has not revealed significant differences between them, which suggests the existence of a single clonal population of the pathogen in this territory. The high evolutionary potential of *P. striiformis* requires annual monitoring of the virulence and racial composition of the pathogen population, and the search for new effective resistance donors for use in breeding for yellow rust resistance.

Keywords: virulence, *Yr* genes, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Triticum aestivum*.

Введение. Желтая ржавчина (возбудитель – *Puccinia striiformis* West.) – вредоносное заболевание пшеницы во всем мире (Chen et al., 2021; Riella et al., 2024). В России оно имеет региональную значимость для Северо-Кавказского региона, где регулярно отмечается в посевах пшеницы в последние годы (Волкова и др., 2020; Volkova et al., 2021). Генетическая защита, основанная на возделывании разнообразных устойчивых сортов, – перспективное направление для развития сельского хозяйства и его экологизации. Она позволяет: повысить урожайность сельскохозяйственных культур за счет снижения потерь, наносимых болезнями; снизить пестицидную нагрузку; временные и финансовые трудозатраты на проведение химических мероприятий и уменьшить загрязненность урожая остаточными количествами пестицидов. Не случайно это направление поддерживается на государственном уровне (<http://government.ru/docs/all/149596>). Для осуществления генетической защиты необходима информация об эффективности генов устойчивости и расовом составе патогена, формирующегося на широко возделываемых и внедряемых сортах.

Возбудитель желтой ржавчины – быстро эволюционирующий патоген. Его популяции характеризуются высоким генетическим разнообразием по вирулентности и расовому составу (Liu et al., 2017). Северокавказская популяция не является исключением. При ее анализе в Федеральном научном центре биологической защиты в 2013–2018 гг. среди 189 изолятов *P. striiformis* обнаружено 182 расы (Volkova et al., 2021). Показано, что высокой эффективностью к желтой ржавчине характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и *Yr24*, но они не встречаются в российских сортах (Volkova et al., 2021; Gulyaeva and Shaydayuk, 2023). При этом в отечественных сортах озимой пшеницы широкое распространение имеют гены *Yr9* и *Yr18*. Первые сорта, защищенные этими генами (Безостая 1 (*Yr18*), Кавказ и Аврора (*Yr9*)), в Северо-Кавказском регионе начали возделывать в кон-

це 1960-х гг. и далее их широко использовали в селекционных программах. Массовое возделывание однородных по генам *Yr9* и *Yr18* сортов привело к потере эффективности этих генов. Для продления срока «полезной жизни» *Yr9* и *Yr18* рекомендуется их пирамидирование с другими *Yr*-генами (Abbas et al., 2024). С 2015 г. в регионе начали возделывать сорта с геном *Yr17* (Морозко, Сварог, Маркиз, Гомер и др.). В сортах, рекомендованных для возделывания в Северо-Кавказском регионе, также встречается пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS с неизвестным *Yr*-геном – умеренно эффективным в защите от желтой ржавчины (Школа, Княгиня Ольга, Кохана) (Gulyaeva and Shaydayuk, 2023). Других известных каталогизированных *Yr*-генов в сортах северокавказской селекции не обнаружено (Gulyaeva and Shaydayuk, 2023).

Северо-Кавказский регион доминирует по производству зерна озимой пшеницы в Российской Федерации. В современный период здесь выращивается большое количество сортов, преимущественно созданных в Национальном центре зерна им. П. П. Лукьяненко, где селекция на устойчивость к ржавчинным болезням проводится в течение длительного времени. В результате получено многообразие сортов с различной генетической основой, которые характеризуются вариабельностью по уровню устойчивости, в том числе и к *P. striiformis* (Беспалова и др., 2024). В связи с нарастанием значимости желтой ржавчины представляло интерес оценить влияние возделываемых сортов озимой пшеницы на отбор патогена по вирулентности и формирование региональной популяции *P. striiformis*.

Цель исследований – охарактеризовать вирулентность и расовый состав возбудителя желтой ржавчины на генетически разнообразных сортах озимой мягкой пшеницы, возделываемых в Краснодарском крае.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования служили листья с урединиопустулами *P. striiformis*, собранные

с сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко в Краснодарском крае в 2021, 2023–2024 годах. Изученные сорта пшеницы были созданы в разный период време-

ни (2005–2023 гг.). Они широко возделываются в Северо-Кавказском регионе и характеризуются разной степенью устойчивости/восприимчивости к желтой ржавчине (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы, используемых в качестве источников инфекционного материала *P. striiformis*
Table 1. Characteristics of winter common wheat varieties used as infectious material sources *P. striiformis*

Сорт	Год включения в реестр	Годы изучения в данных исследованиях	Устойчивость к желтой ржавчине ¹	Yr-гены ²
Агрофак 100	2022	2024	Средневосприимчив	–
Безостая 100	2017	2024	Полевая устойчивость	Yr9, Yr18
Бумба	2021	2024	Средневосприимчив	–
Васса	2011	2021, 2023–24	Средневосприимчив	Yr9
Гром	2010	2021, 2023–24	Средневосприимчив	–
Еланчик	2020	2024	Средневосприимчив	–
Изабель	2023	2024	Средневосприимчив	Yr18
Илиада	2020	2024	Среднеустойчив	–
Классика	2021	2024	Средневосприимчив	–
Кольчуга	2023	2024	Полевая устойчивость	Yr9
Монэ	2022	2021, 2024	Полевая устойчивость	–
Собербаш	2019	2021	Среднеустойчив	–
Стиль 18	2021	2024	Средневосприимчив	–
Таня	2005	2021, 2023–24	Полевая устойчивость	Yr9, Yr18
Федор	2022	2024	Устойчивый	Yr9
Школа	2022	2024	Средневосприимчив	1AL.1RS

Примечание. 1 – по данным Беспалова и др., 2024 г.;

2 – по данным Gulyaeva and Shaydayuk, 2023.

Для получения монопустульных изолятов и проведения анализа вирулентности листа пшеницы с урединиопустулами *P. striiformis* раскладывали в чашки Петри. С одной стороны концы их прикрывали ватным валиком, смоченном в 0,004%-м растворе бензимидазола (Михайлова и др., 2000). Чашки помещали в холодильник (3–5 °C) на 1–5 дней. После появления свежего спороношения патогена отрезки с урединиопустулами с помощью пищевой пленки привязывали к листьям 10–14-дневных растений восприимчивого сорта Мичиган Амбер. В течение первых суток сосуды с растениями выдерживали в темноте при температуре 10 °C и влажности 100 % в климатической камере Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H. Далее пленку с инфекционным материалом (отрезками листьев) снимали и растения инкубировали при следующих параметрах: 16 ч – день (освещение 15000–20000 лк), температура 16 °C; 8 ч – ночь, температура 10 °C. Споровый материал собирали через 15–18 дней и далее через 3–5 дней до усыхания листьев с помощью вакуумного насоса со специальной насадкой. Для получения и размножения монопустульных изолятов использовали отрезки листьев с отдельными урединиопустулами.

Вирулентность охарактеризована с использованием 14 почти изогенных линий сорта Avocet (AvNIL) с генами Yr1, Yr5, Yr6, Yr7, Yr8, Yr9, Yr10, Yr15, Yr17, Yr18, Yr24, Yr26, YrSp, Yr27 и 15 сортов-дифференциаторов из европейского (Chinese 166, Lee, Heines Kolben, Vilmorin 23,

Moro, Strubes Dickkopf, Suwon 92/Omar) и международного (Hybrid 46, Reichersberg 42, Heines Peko, Nord Desprez, Compare, Carstens V, Spaldings Prolific, Heines VII) наборов. Для этого 10–12-дневные растения дифференциаторов опрыскивали суспензией спор в малотоксичной для растений жидкости NOVEC 7100 (концентрация 10⁶ спор/мл) с использованием аэрографа. Последующая инкубация наборов тестеров вирулентности выполнена по вышеописанным параметрам.

Реакцию на инокуляцию патогеном определяли по шкале G. Gassner и W. Straib, где балл 0 – отсутствие симптомов, 0; – некротические пятна; 1 – мелкие пустулы с некрозом, 2, 2; – мелкие, средние пустулы, окруженные некрозом или хлорозом, 3 – среднего размера пустулы без хлороза, 4 – крупные пустулы без хлороза; «–» и «+» – промежуточные типы реакции.

Фенотипы *P. striiformis* определяли на полном наборе тестеров вирулентности (14 AvNIL и 15 сортов-дифференциаторов) и отдельно на сортах-дифференциаторах. При обозначении рас на сортах-дифференциаторах применяли десятичную систему обозначения каждого сорта (устойчивая реакция – 0, восприимчивая – 1; соответственно первый дифференциатор 2⁰, второй 2¹, третий 2² и т. д.). Сначала указывали номер на 7 сортах из международного набора (Chinese 166, Lee, Heines Kolben, Vilmorin 23, Moro, Strubes Dickkopf, Suwon 92/Omar), затем номер на 8-ми сортах из европейского набора с приставкой E

(Hybrid 46, Reichersberg 42, Heines Peko, Nord Desprez, Compair, Carstens V, Spaldings Prolific, Heines VII) (Rsaliyev et al., 2025).

Частоты вирулентности патогена к линиям и сортам-дифференциаторам, фенотипы (расы) и анализ генетического родства между фенотипами (расами) патогена на разных сортах определяли с использованием пакета программ GenAlEx (<https://biology-assets.anu.edu.au/GenAlEx/Welcome.html>).

Результаты и их обсуждение. Охарактеризована вирулентность 53 монопустьевых изолятов, выделенных с 17 сортов озимой мягкой пшеницы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, выращиваемых в Краснодарском крае в 2021–2024 гг. (табл. 2).

Все изоляты были авирулентны к линиям AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr26* и сорту Moro (*Yr10*, *YrMor*) и вирулентны к линиям AvNILs: *Yr6*, *Yr9*, *Yr18* и сортам Lee, Suwon 92/Omar, Carstens V, Heines Kolben, Heines Peko. Редкая авирулентность к линии AvNIL с геном *Yr1* и дифференциатору Chinese 166 (с этим же геном) отмечена у изолятов на сортах Агрофак 100 и Классика; к линии AvNIL $Yr7$ – на сорте Еланчик; AvNIL $Yr7$ – на сортах Собербаш и Безостая 100; к дифференциатору Vilmorin – на сорте Собербаш; Strubes Dickkopf – на сортах Собербаш, Изабель, Кольчуга; Reishesberg и Heines VII 42 – на сорте Федор. Существенное варьирование по устойчивости отмечено на других линиях AvNILs и сортах-дифференциаторах (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика вирулентности изолятов *P. striiformis* на изученных сортах озимой мягкой пшеницы
Table 2. Characteristics of virulence of *P. striiformis* isolates on the studied winter common wheat varieties

Сорт пшеницы	Год	Тип реакции к линиям и сортам-дифференциаторам (балл)														
		AvNIL Yr1	AvNIL Yr7	AvNIL Yr8	AvNIL Yr17	AvNIL YrSP	AvNIL Yr27	Chinese 166	Vilmorin	Strubes Dickkopf	Hybrid 46	Reishesberg 42	Nord Desprez	Compair	Spaldings Prolific	Heines VII
Васса	2021	3	3	1–2	2	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	0	3	3	3–4
Васса	2023	3	3	0	2	3	3	3	3–4	3	3	3–4	0	3	2–3	3–4
Васса	2024	3	3	0	0	3	3	3	3–4	3	3	3–4	0	3	2–3	3–4
Таня	2021	3	3	3	0–1	3	3	3	3–4	2–3	3	3–4	2	2–3	3	2–3
Таня	2023	3	3	3	0	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	0	3	3	3
Таня	2024	3	3	3	3	3	3–4	3	3–4	3	3	3–4	2	3	2–3	3
Гром	2021	3	3	0	0	2–3	3	3	3–4	2–3	3–4	3–4	3–4	0	2–3	3
Гром	2023	3	3	0	0	2–3	3	3	3–4	2–3	3–4	3–4	3–4	0	2–3	3
Гром	2024	3	2–3	0	0	2–3	3	3	3–4	3	3–4	3–4	3	1–2	2–3	2–3
Монэ	2021	3	3	3	0–1	3	2–3	3	3	3	3	3–4	0	2	3	3–4
Монэ	2024	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	0	0–1	3	3–4
Собербаш	2021	3	3	3–4	0	0	0	3	2	0	3	3–4	0–2	3	0	3–4
Агрофак 100	2024	0	3	3	3	2	3	0	3–4	3	3	3–4	3	3	0	3
Безостая 100	2024	3	3	3	0	0	0	3	3–4	3	3–4	3–4	0	3	3	3
Бумба	2024	3	3	0	3	3	2–3	3	3–4	3	3–4	3	3	0	3	3
Еланчик	2024	3	2	0	0	3	3	3	3–4	3	3–4	3	0	3	3	3
Изабель	2024	3	3	0–1	3	3	3	3	3–4	0–1	3	3	0;	3	3	3
Илиада	2024	3	3	0	0	3	3	3	3–4	3	3–4	3–4	0	2–3	3	3
Классика	2024	0	3	3	0	3	2	0	3–4	3	3–4	3–4	3	0	3	2–3
Кольчуга	2024	3	3	0	3	3	2–3	3	3–4	0	3–4	3–4	0	0	3	3
Стиль 18	2024	3	3	0	0	3	3	3	3	3	3–4	3–4	3	3	3	3
Федор	2024	3	3	3–4	0	0	2–3	3	3–4	3	3–4	0–1	0	0	0	0
Школа*	2024	3	3–4	0	3	3	2–3	3	3–4	3	3	3	3	0	3	3–4
Школа*	2024	3	3–4	0	3	2–3	3	3	3–4	3	3–4	3	2–3	0	2–3	3–4
Школа*	2024	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3–4

Примечание. Все изоляты *P. striiformis* показали балл реакции «0, 0;» на линиях AvNILs: *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и сорте 'Moro'; баллы «1–2» – на линиях AvNILs: *Yr24*, *Yr26*; баллы «3,4» – на линиях AvNILs: *Yr6*, *Yr9*, *Yr18*, сортах Lee, Suwon 92/Omar, Carstens V, Heines Kolben, Heines Peko.

* – инфекционный материал с сорта Школа был собран в трех точках Краснодарского края.

Инфекционный материал с сортов Таня, Васса и Гром изучали в 2021 и 2023–2024 гг., с сорта Монэ – в 2021 и 2024 годах. Стабильность по вирулентности и идентичность расового состава отмечены на сортах Васса, Гром

и Моне в изученный период времени. У изолятов с сорта Таня в 2024 г. отмечена новая вирулентность к *Yr17*, несмотря на то, что у него этот ген отсутствует. Инфекционный материал на сорте Школа был собран в разных районах

Краснодарского края в 2024 году. Вирулентность урединиообразцов с этого сорта была сходной во всех изученных точках, что указывает на стабильность отбора одним генотипом соответствующих рас в разных условиях выращивания.

Сводные результаты анализа вирулентности показали, что большинство известных *Yr*-генов, представленных у линий и сортов-дифференциаторов, характеризуются низкой эффективностью по отношению к краснодарской популяции *P. striiformis* (частоты вирулентности 40–100 %) (табл. 3). Высокий уровень устой-

чивости отмечен у линий AvNILs с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26* и сорта Moro (*Yr10*, *YrMor*). Сходные результаты по эффективности этих генов в изученный период получены в соседнем Казахстане (Rsayiev et al., 2025) и в других странах мира (Chen et al., 2021). Отмечается нарастающее число вирулентных изолятов к умеренно эффективному в регионе гену *Yr17*. Ограниченное число эффективных доноров указывает на необходимость поиска новых эффективных источников и доноров устойчивости пшеницы к желтой ржавчине.

Таблица 3. Частоты вирулентности к линиям и сортам-дифференциаторам в краснодарской популяции *P. striiformis* (2021, 2023–2024 гг.)
Table 3. Virulence frequencies to differentiator lines and varieties in the Krasnodar population of *P. striiformis* (2021, 2023–2024)

Линия, сорт пшеницы с <i>Yr</i> -генами	Частота, %
AvNILs: <i>Yr5</i> , <i>Yr10</i> , <i>Yr15</i> , <i>Yr24</i> , <i>Yr26</i> ; Moro (<i>Yr10</i> , <i>Yr+</i>)	0
AvNIL <i>Yr17</i>	28,3
'Nord Desprez' (<i>Yr3</i> , <i>YrND</i> , <i>Yr+</i>)	34
AvNIL <i>Yr8</i>	41,5
Compair (<i>Yr8</i> , <i>Yr19</i>)	60,4
AvNIL <i>YrSp</i> Spaldings Prolific (<i>YrSP</i> , <i>Yr+</i>)	83
AvNIL <i>Yr27</i> , Strubes Dickkopf (<i>YrSD</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>)	86,8
AvNILs: <i>Yr1</i> , <i>Yr27</i> , Chinese 166 (<i>Yr1</i>),	92,5
Vilmorin 23 (<i>Yr3</i> , <i>Yr+</i>)	94,3
AvNIL <i>Yr7</i> , Hybrid 46 (<i>Yr4</i> , <i>Yr+</i>), Reichersberg 42 (<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>), Heines VIII' (<i>Yr2</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>)	96,2
AvNILs: <i>Yr6</i> , <i>Yr9</i> , <i>Yr18</i> , 'Lee' (<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>), Suwon 92/Omar (<i>YrSu</i> , <i>Yr+</i>), Carstens V' (<i>Yr32</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>), Heines Peko (<i>Yr2</i> , <i>Yr6</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>), Heines Kolben (<i>Yr6</i> , <i>Yr2</i>)	100
Число изолятов	53

Среди изученных 53 изолятов *P. striiformis* определено 15 фенотипов (рас) (табл. 4). Общие фенотипы отмечены на средневосприимчивых сортах Васса и Илиада (фенотип № 1), а также Школа и Бумба (фенотип № 2). На других сортах встречались оригинальные фенотипы (1 сорт – 1 фенотип). Однако между собой они различались несущественно (табл. 2). Число аллелей вирулентности у фенотипов на разных сортах варьировало от 16 (сорта Собербаш, Федор) до 22 (сорт Таня, 2024 г.).

С использованием международного и европейского наборов сортов-дифференциаторов определено 10 рас, из них 8 отмечены только на одном из сортов. Расы 111E247 и 111E239 определены на четырех сортах (Васса, Таня, Безостая 100 и Еланчик; Гром, Бумба, Классика и Школа соответственно). Расовый состав, определенный на краснодарских сортах в данных исследованиях, отличался от идентифицированного в сходный период времени в Казахстане (Rsayiev et al., 2025).

Таблица 4. Фенотипический состав *P. striiformis* на сортах озимой пшеницы в Краснодарском крае (2021, 2023–2024 гг.)
Table 4. Phenotypic *P. striiformis* composition on winter wheat varieties in the Krasnodar Territory (2021, 2023–2024)

Сорт пшеницы	Годы изучения	Фенотип ¹	Раса ²	Число аллелей вирулентности ³
Васса	2021, 2023–24	№1	111E247	20
Таня	2021, 2023	№3	111E247	21
Таня	2024	№4	111E247	22
Гром	2021, 2023–24	№5	111E239	20
Монэ	2021, 2024	№6	111E231	20
Собербаш	2021	№7	71E183	16
Агрофак 100	2024	№8	110E247	19
Безостая 100	2024	№9	111E247	20
Бумба	2024	№10	111E239	21
Еланчик	2024	№2	111E247	19
Изабель	2024	№11	79E247	20
Илиада	2024	№12	111E247	20
Классика	2024	№1	111E239	20

Продолжение табл. 4

Сорт пшеницы	Годы изучения	Фенотип ¹	Раса ²	Число аллелей вирулентности ³
Кольчуга	2024	№13	78E231	17
Стиль 18	2024	№14	111E255	20
Федор	2024	№15	111E37	16
Школа	2024	№2	111E239	21

Примечание. 1 – фенотип патогена на 14 линиях и 15 сортах-дифференциаторах;
2 – раса, определенная по международной номенклатуре на 15 сортах-дифференциаторах;
3 – при тестировании на 29 тестерах вирулентности.

С использованием метода главных координат (PCoA) оценили генетическое родство между идентифицированными фенотипами вирулентности (пакет программ GenAlEx, Genetic distance options) (см. рисунок). На многомерной диаграмме большинство фенотипов сгруппировались в единую группу. Только два фенотипа, определенные на сортах Агрофак 100 и Собербаш, умеренно дифференцировались с этой группой. Фенотип

на сорте Собербаш характеризовался минимальным числом аллелей вирулентности (16), а на сорте Агрофак 100 – умеренным (19). Оба этих фенотипа характеризовались редкой авирулентностью к линии AvNILYrSp и сорту Spaldings Prolific. Кроме того, фенотип на сорте Собербаш был авирулентен к линии AvNILYr7 и сортам-дифференциаторам Vilmorin, Strubes Dickkopf, а на сорте Агрофак 100 – к AvNILYr1 и Chinese 166.

Principal Coordinates (PCoA)



Генетическое родство между фенотипами *P. striiformis* на сортах озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае (GenAlEx, Genetic distance options) (2021, 2023–2024 гг.)
Genetic relationship between *P. striiformis* phenotypes on winter common wheat varieties in the Krasnodar Territory (GenAlEx, Genetic distance options) (2021, 2023–2024)

Выводы. Изучена коллекция из 53 монопустульных изолятов *P. striiformis*, полученных с 16 сортов озимой мягкой пшеницы, выращиваемых в Краснодарском крае в 2021–2024 годах. 16 фенотипов (рас) определено при тестировании на полном наборе из 29 дифференциаторов и 11 рас на 15 международных сортах-дифференциаторах. Для большинства сортов определено поражение оригинальным фенотипом, что обуславливает высокое разнообразие красnodарской популяции *P. striiformis*. При этом анализ главных координат (PCoA) не выявил существенных различий между фенотипами вирулентности. Это указывает на существование единой клональной популяции,

которая характеризуется высокой динамичностью. Наибольшей эффективностью в регионе характеризуются гены *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26*. Образцы с этими генами рекомендуются для селекции на устойчивость к желтой ржавчине. Высокий эволюционный потенциал *P. striiformis* обуславливает проведение ежегодного мониторинга вирулентности и расового состава популяции патогена и поиск новых эффективных доноров устойчивости для использования в селекции на устойчивость к желтой ржавчине.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБНУ ВИЗР FGEU-2025-0005.

Библиографический список

1. Беспалова Л. А., Лукомец В. М., Кудряшов И. Н., Аблова И. Б., Мудрова А. А., Ковтуненко А. Я. и др. Сорты пшеницы и тритикале: каталог. ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко». Краснодар: ЭДВИ, 2024. 192 с.
2. Волкова Г. В., Матвеева И. П., Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Марченко Н. В. Источники устойчивости к желтой ржавчине (возбудитель *Puccinia striiformis* West.) среди селекционного и коллекционного материала озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
3. Михайлова Л. А., Гуляева Е. И., Мироненко Н. В. Методы исследования структуры популяций возбудителя бурой ржавчины пшеницы *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici* // Иммуногенетические методы создания устойчивых к вредным организмам сортов: Методические рекомендации. СПб.: ВИЗР, 2000. 26 с.
4. Abbas S., Li Y., Lu J., Hu J., Zhang X., Lv X., Shahzad A., Ao D., Abbas M., Wu Y., Zhang L., Fayyaz M. Evaluation of stripe rust resistance and analysis of resistance genes in wheat genotypes from Pakistan and Southwest China // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15, Article number: 1494566. DOI: 10.3389/fpls.2024.1494566.
5. Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P. F., Maccaferri M., Mastrangelo M., Barnes C., Fabricio D., Cruz C., Tenuta A. U., Esmail S. M., Abdelrhim A. S. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020 // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 43(2), P. 308–322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
6. Gulyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust // *Plants*. 2023. Vol. 12(19), Article number: 3471. DOI: 10.3390/plants12193471
7. Liu T., Wan A., Liu D., Chen X. Changes of races and virulence genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the wheat stripe rust pathogen, in the United States from 1968 to 2009 // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101(8), P. 1522–1532. DOI: 0.1094/PDIS-12-16-1786-RE
8. Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M. S., Germán S. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America // *Plant Disease*. 2024. Vol. 108(8), P. 2454–2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
9. Rsaliyev Sh., Rsaliyev A., Urazaliev R., Dubekova S., Serikbaykyzy S. Population composition and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Kazakhstan // *Plant Protection Science*. 2025. Vol. 61(2), P. 152–161. DOI: 10.17221/16/2024-PPS
10. Volkova G. V., Kudinova O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathol. Mediterr.* 2021. Vol. 60(1), P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396

References

1. Bespalova L. A., Lukomets V. M., Kudryashov I. N., Ablova I. B., Mudrova A. A., Kovtunencko A. Ya. i dr. Sorta pshenitsy i tritikale: katalog [Wheat and triticale varieties: catalog]. FGBNU «NTSZ im. P. P. Luk'yanenko». Krasnodar: EDVI, 2024. 192 s.
2. Volkova G. V., Matveeva I. P., Derova T. G., Shishkin N. V., Marchenko N. V. Istochniki ustoichivosti k zheltoui rzhavchine (vozbuditel' *Puccinia striiformis* West.) sredi selektsionnogo i kolleksiionnogo materiala ozimoi pshenitsy FGBNU «ANTs «Donskoi» [Yellow rust resistant sources (pathogen *Puccinia striiformis* West.) among breeding and collection material of winter wheat of the FSBSI "ARC "Donskoy"] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 4(70). S. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
3. Mikhailova L. A., Gulyaeva E. I., Mironenko N. V. Metody issledovaniya struktury populyatsii vozbuditelya buroi rzhavchiny pshenitsy *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici* [Methods for studying the population structure of the causative agent of brown rust of wheat *Puccinia recondita* Rob.ex Desm.f.sp. *tritici*] // *Immunogeneticheskie metody sozdaniya ustoichivykh k vrednym organizmam sortov: Metodicheskie rekomendatsii*. SPb.: VIZR, 2000. 26 s.
4. Abbas S., Li Y., Lu J., Hu J., Zhang X., Lv X., Shahzad A., Ao D., Abbas M., Wu Y., Zhang L., Fayyaz M. Evaluation of stripe rust resistance and analysis of resistance genes in wheat genotypes from Pakistan and Southwest China // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15, Article number: 1494566. DOI: 10.3389/fpls.2024.1494566.
5. Chen X., Wang M., Wan A., Bai Q., Li M., López P. F., Maccaferri M., Mastrangelo M., Barnes C., Fabricio D., Cruz C., Tenuta A. U., Esmail S. M., Abdelrhim A. S. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from six countries in 2013 to 2020 // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 43(2), P. 308–322. DOI: 10.1080/07060661.2021.1958259
6. Gulyaeva E., Shaydayuk E. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust // *Plants*. 2023. Vol. 12(19), Article number: 3471. DOI: 10.3390/plants12193471
7. Liu T., Wan A., Liu D., Chen X. Changes of races and virulence genes in *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, the wheat stripe rust pathogen, in the United States from 1968 to 2009 // *Plant Disease*. 2017. Vol. 101(8), P. 1522–1532. DOI: 0.1094/PDIS-12-16-1786-RE
8. Riella V., Rodriguez-Algaba J., García R., Pereira F., Silva P., Hovmøller M. S., Germán S. New races with wider virulence indicate rapid evolution of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the Southern Cone of America // *Plant Disease*. 2024. Vol. 108(8), P. 2454–2461. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0320-RE
9. Rsaliyev Sh., Rsaliyev A., Urazaliev R., Dubekova S., Serikbaykyzy S. Population composition and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Kazakhstan // *Plant Protection Science*. 2025. Vol. 61(2), P. 152–161. DOI: 10.17221/16/2024-PPS
10. Volkova G. V., Kudinova O. A., Matveeva I. P. Virulence and diversity of *Puccinia striiformis* in South Russia // *Phytopathol. Mediterr.* 2021. Vol. 60(1), P. 119–127. DOI: 10.36253/phyto-12396

Поступила: 16.04.25; доработана после рецензирования: 17.06.25; принята к публикации: 17.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гулятьева Е. И., Беспалова Л. А., Аблова И. Б. – концептуализация исследования, интерпретация, подготовка рукописи; Шайдаук Е. Л. – проведение лабораторных исследований; Левченко Ю. Г. выполнение полевых сборов, оценка устойчивости сортов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЮВЕНИЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ И ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ГАУ К ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫМ БОЛЕЗНЯМ

Т. П. Колесникова¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ «Защита растений», ORCID ID: 0000-0003-3029-8621;

Н. М. Терехин¹, младший научный сотрудник НИЛ «Селекция зерновых культур», ORCID ID: 0000-0002-7989-4769;

Ю. В. Зеленева², доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, zelenewa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9716-288X;

Э. А. Конькова³, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ORCID ID: 0000-0001-8607-2301;

Н. М. Коваленко², кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ORCID ID: 0000-0001-9577-8816

¹ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», 675000, г. Благовещенск, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: zr@dalgau.ru;

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», 196608, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: zelenewa@mail.ru;

³ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки устойчивости районированных сортов и линий яровой мягкой пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ к возбудителям септориоза, бурой и стеблевой ржавчины, темно-бурой пятнистости и пиренофорозу; а также идентификации в генотипе сортов доминантных/рецессивных аллелей генов *Tsn1* и *Snn1*. Иммунологические испытания сортов и линий мягкой пшеницы проводили в 2025 г. в лабораторных условиях во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург) и ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов). Материалом для исследований служили 6 сортов и 6 селекционных линий яровой мягкой пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ. В результате исследований были выявлены различные уровни устойчивости образцов к патогенам. Устойчивость к *Zymoseptoria tritici* проявили 2 сорта (ДальГАУ 2, Амурская 1495) и 3 селекционные линии (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-26-24). Линия КСИ-25-24 продемонстрировала устойчивость к *Parastagonospora nodorum*. К *P. pseudonodorum* устойчивыми оказались 3 линии (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-25-24). Высокую устойчивость к *Septoria triticolica* проявили линии КСИ-6-24 и КСИ-21-24, а сорт Амурская 90 и линии КСИ-22-24 и КСИ-25-24 показали устойчивость. С помощью молекулярных маркеров *Xfcp623* и *Xfcp624*, определяющих чувствительность растений к токсинам *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* (*ToxA* и *Tox1*), установлено, что сорта ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, ДальГАУ 4, Амурская 90 и Амурская 1495, а также линии КСИ-6-24, КСИ-22-24 и КСИ-25-24 имеют защиту от *ToxA* благодаря рецессивному аллелю *tsn1*. Сорт ДальГАУ 4 и линии КСИ-21-24, КСИ-22-24 и КСИ-25-24 несут рецессивный аллель *snn1*, обеспечивая защиту от токсина *Tox1*. Кроме того, сорта ДальГАУ 3 и ДальГАУ 4, а также линии КСИ-6-24, КСИ-22-24 и КСИ-25-24 продемонстрировали умеренную устойчивость (MR) к бурой ржавчине. Сорт Амурская 1495 и линия КСИ-35-24 проявили умеренную устойчивость (MR), в то время как линия КСИ-26-24 показала устойчивость (R) к стеблевой ржавчине. Устойчивую реакцию (R) к *Pyrenophora tritici-repentis* продемонстрировали 4 сорта (ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, Амурская 90, Амурская 1495) и одна селекционная линия (КСИ-26-24). Устойчивость на стадии проростков к *Bipolaris sorokiniana* проявили сорта ДальГАУ 3 и ДальГАУ 4, а также линии КСИ-22-24 и КСИ-25-24.

Ключевые слова: *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *P. pseudonodorum*, *Septoria triticolica*, *Bipolaris sorokiniana*, *Puccinia triticina*, *Puccinia graminis*, *Pyrenophora tritici-repentis*, молекулярно-генетический анализ, ПЦР, пшеница, фитопатогенные грибы.

Для цитирования: Колесникова Т. П., Терехин Н. М., Зеленева Ю. В., Конькова Э. А., Коваленко Н. М. Ювенильная устойчивость сортов и линий пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ к листовостебельным болезням // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 4. С. 105–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-99-4-105-112.



JUVENILE RESISTANCE OF WHEAT VARIETIES AND LINES DEVELOPED BY THE FAR EASTERN SAU TO LEAF AND STEM DISEASES

T. P. Kolesnikova¹, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory "Plant protection", ORCID ID: 0000-0003-3029-8621;

N. M. Terekhin¹, junior researcher of the laboratory "Breeding of grain crops", ORCID ID: 0000-0002-7989-4769;

Yu. V. Zeleneva², Doctor of Biological Sciences, associate professor, senior researcher of the laboratory for mycology and phytopathology, zelenewa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9716-288X;

E. A. Kon'kova³, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity to diseases, ORCID ID: 0000-0001-8607-2301;

N. M. Kovalenko², Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for plant immunity to diseases, ORCID ID: 0000-0001-9577-8816

¹FSBEI HE "Far Eastern State Agrarian University", 675000, Blagoveshchensk, Politekhnicheskaya Str., 86; e-mail: zr@dalgau.ru;

²FSBSI "All-Russian Institute of Plant Protection" (VIZR), 196608, St. Petersburg, Pushkin, Podbelsky Av., 3; e-mail: zelenewa@mail.ru;

³FSBSI "Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region", 410010, Saratov, Tulaykov Str., 7; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

The current study was conducted to estimate the resistance of zoned spring common wheat varieties and lines developed by the Far Eastern SAU to the pathogens of leaf blotch, brown and stem rust, dark brown blotch and net blotch; as well as to identify dominant/recessive alleles of the *Tsn1* and *Snn1* genes in the genotype of varieties. Immunological tests of common wheat varieties and lines were conducted in the laboratory conditions at the All-Russian RI of Plant Protection (VIZR, St. Petersburg) and the FARC of South-East (Saratov) in 2025. The objects for the study were 6 spring common wheat varieties and 6 lines developed by the Far Eastern SAU. As a result, there have been identified different resistance levels of the samples to pathogens. Resistance to *Zymoseptoria tritici* was shown by 2 varieties ('DalGAU 2', 'Amurskaya 1495') and 3 breeding lines ('KSI-6-24', 'KSI-21-24', 'KSI-26-24'). The line 'KSI-25-24' has demonstrated resistance to *Parastagonospora nodorum*. Three lines 'KSI-6-24', 'KSI-21-24' and 'KSI-25-24' were resistant to *P. pseudonodorum*. High resistance to *Septoria trititicola* was demonstrated by the lines 'KSI-6-24' and 'KSI-21-24', and the variety 'Amurskaya 90' and the lines 'KSI-22-24' and 'KSI-25-24' showed ordinary resistance. Using the molecular markers *Xfcp623* and *Xfcp624*, which determine plant sensitivity to the toxins of *P. nodorum* and *P. pseudonodorum* (*ToxA* and *Tox1*), there has been established that the varieties 'DalGAU 1', 'DalGAU 2', 'DalGAU 4', 'Amurskaya 90' and 'Amurskaya 1495', as well as the lines 'KSI-6-24', 'KSI-22-24' and 'KSI-25-24' have protection from *ToxA* due to the recessive *tsn1* allele. The variety 'DalGAU 4' and the lines 'KSI-21-24', 'KSI-22-24' and 'KSI-25-24' carry the recessive *snn1* allele, providing protection from the toxin *Tox1*. In addition, the varieties 'DalGAU 3' and 'DalGAU 4', as well as the lines 'KSI-6-24', 'KSI-22-24' and 'KSI-25-24' have demonstrated moderate resistance (MR) to leaf rust. The variety 'Amurskaya 1495' and the line 'KSI-35-24' have shown moderate resistance (MR), while the line 'KSI-26-24' showed resistance (R) to stem rust. Four varieties 'DalGAU 1', 'DalGAU 2', 'Amurskaya 90', 'Amurskaya 1495' and one breeding line 'KSI-26-24' have demonstrated a resistant reaction (R) to *Pyrenophora tritici-repentis*. The varieties 'DalGAU 3' and 'DalGAU 4', as well as the lines 'KSI-22-24' and 'KSI-25-24' have shown resistance to *Bipolaris sorokiniana* at the sprouting stage.

Keywords: *Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum*, *P. pseudonodorum*, *Septoria trititicola*, *Bipolaris sorokiniana*, *Puccinia triticina*, *Puccinia graminis*, *Pyrenophora tritici-repentis*, molecular genetic analysis, PCR, wheat, phytopathogenic fungi.

Введение. В структуре посевных площадей Амурской области зерновые занимают 20 %. Пшеница и ячмень – это главные сменные культуры, высеваемые в соевых севооборотах региона, которые обеспечивают последующую высокую урожайность сои и имеют важную кормовое значение для животноводства и птицеводства области (URL: <https://agro.amurobl.ru/>).

Важнейшими факторами, ограничивающими рост урожайности зерновых культур, являются болезни (Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Амурской области, 2025). По данным территориального Россельхозцентра, в пшеничных агроценозах ежегодно фиксируются корневые гнили (возбудители: *Bipolaris sorokiniana*, *Gibellina cerealis* и др.), бурая (*Puccinia triticina*) и стеблевая ржавчины (*Puccinia graminis*), пыльная (*Ustilago tritici*) и твердая головни (*Tilletia caries*), септориоз (*Zymoseptoria tritici*, *Parastagonospora* spp.), фузариоз колоса (*Fusarium* spp.) с разной степенью распространения и развития болезни. Так, в 2024 г. зараженность корневыми гнилями отмечалась на 11,77 тыс. га, бурой ржавчиной – на 11,55 тыс. га, септориозом колоса – на 1,64 тыс. га, листьев – на 4,89 тыс. га, гельминтоспориозом – на 12,11 тыс. га, фузариозом колоса – на 4,24 тыс. га обследованных сельскохозяйственных площадях (Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Амурской области, 2025).

Поражение фитопатогенами не только снижает урожайность на 20–30 %, а в годы эпифитотий может достигать 80 %, но и ухудшает его качество. Высокой вредоносности грибных патогенов способствует муссонный климат региона (обильные дожди, высокая температура и повышенная влажность воздуха во второй половине вегетации) (Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Амурской области, 2025).

Грибы *P. nodorum*, *P. pseudonodorum* и *Pyrenophora tritici-repentis* известны своей способностью производить некротрофные эффекторы (necrotrophic effectors – NEs), включая специфичные для хозяина токсины (host selective toxins – HSTs), которые играют роль факторов патогенности (Kariyawasam et. al., 2023; Waites et al., 2025).

В настоящее время четыре гена, кодирующие NEs у *P. nodorum*, были клонированы и функционально охарактеризованы. Это *ToxA*, *Tox1*, *Tox267* и *Tox3*. Показано, что они присутствуют у *P. pseudonodorum* (*ToxA*, *Tox1*, *Tox3*), а также у *P. tritici-repentis* (*ToxA*). Идентифицировано 9 взаимодействий NEs грибов с генами чувствительности к ним у пшеницы: *ToxA* – *Tsn1*, *Tox1* – *Snn1*, *Tox267* – *Snn2*, *Tox3* – *Snn3-B1*, *Tox3* – *Snn3-D1*, *Tox4* – *Snn4*, *Tox5* – *Snn5*, *Tox267* – *Snn6* и *Tox267* – *Snn7* (Friesen and Faris, 2021; Richards et al., 2022).

Снижение урожайности в результате поражения болезнями может быть частично решено при использовании сортов с различной степе-

ную устойчивость (от иммунных до толерантных, адаптированных к экстремальным условиям среды, а также включающих хозяйственно ценные признаки). Поэтому селекция и внедрение в производство сортов, обладающих устойчивостью к заболеваниям, является приоритетной задачей для обеспечения стабильных и высоких урожаев. В условиях Амурской области иммунологическая дифференциация сортов и линий зерновых культур до последнего времени не проводилась. Цель исследований – оценить устойчивость районированных сортов и линий яровой мягкой пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ к возбудителям септориоза, бурой и стеблевой ржавчины, темно-бурой пятнистости и пиренофорозу; а также идентифицировать в генотипе сортов доминантные/рецессивные аллели генов *Tsn1* и *Snn1*.

Материалы и методы исследований.

Иммунологические испытания сортов и линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) проводили в 2025 г. в лабораторных условиях во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург) и ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов). Изучен генетический потенциал селекционных образцов.

Материалом для иммунологических исследований в инфекционных питомниках служили 6 сортов (ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, ДальГАУ 3, ДальГАУ 4, Амурская 90, Амурская 1495) и 6 селекционных линий яровой мягкой пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24, КСИ-26-24, КСИ-35-24).

Для лабораторной оценки растения выращивали в пластиковых вазонах емкостью 20 см³ по 10 семян одного сорта в трехкратной повторности при температуре 20–22 °С, освещенности около 3000 лк и фотопериоде 16 ч день / 8 ч ночь. Для создания необходимых условий выращивания растений использовали климатическую камеру (MLR-352H-PE «Panasonic», Япония). 8–10-суточные проростки пшеницы, выращенные в сосудах с почвой, заражали споровой суспензией грибов, которую наносили с помощью пульверизатора; расход суспензии – 100 мл/м² посевов пшеницы. В суспензию добавляли поверхностно-активное вещество (Твин-20) в количестве 1–2 капель на каждые 100 мл. Инокулированные растения на двое суток помещали в темную влажную камеру при 20–22 °С, затем возвращали в климатическую камеру с первоначальным режимом.

Для инокуляции бурой (*P. triticina*) и стеблевой (*P. graminis*) ржавчиной использовали популяции грибов, собранные в 2024 г. в Саратовской области. Исследования проводили по методике Л. А. Михайловой с соавт. (Gultyayeva et al., 2023). Лабораторную оценку осуществляли через 8–10 суток с момента инокуляции, используя шкалы Е. В. Mains с соавт. и Е. С. Stakman с соавт. (Судникова и др., 2025) соответственно. Реакции растений на заражение болезнями обозначали баллами: 0 – отсут-

ствие симптомов; 0; – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом (устойчивые, R); 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом (умеренно устойчивые, MR); 3 – пустулы среднего размера без некроза (умеренно восприимчивые, MS); 4 – крупные пустулы без некроза (восприимчивые, S); X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы (SS).

При лабораторной оценке селекционного материала на устойчивость/восприимчивость к септориозу инокулятом служила споровая смесь изолятов грибов из коллекции ФГБНУ Всероссийского НИИ института защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург – Пушкин): *Z. tritici* (номера изолятов: 73-22-Z.t., 80-22-Z.t.), *P. nodorum* (149-22-P.n_ToxA, 150-22-P.n_Tox1, 24-23-1-P.n_Tox3+Tox267), *P. pseudonodorum* (95-23-1-P.ps_ToxA, 90-23-4-P.ps_Tox1, 72-22-5-P.ps_Tox1+Tox3), *Septoria tritricola* (157-21-S.tritic., 155-21-S.tritic.). Для оценки устойчивости к септориозу в лабораторных условиях пользовались модифицированной шкалой Саари – Прескотта (Saari & Prescott) (Kokhmetova et al., 2024). Сорта делили на пять групп: RR – высоко устойчивые (интенсивность поражения < 11 %), R – устойчивые (11–20 %), MS – умеренно восприимчивые (21–40 %), S – восприимчивые (41–70 %), HS – высоко восприимчивые (71–100 %).

Инокулюмы *P. tritici-repentis* (ToxA) и *B. sorokiniana*, которые использовали для заражения растений в лабораторных условиях, состояли из смеси нескольких изолятов каждого гриба, полученных в 2024 г. из коллекции ВИЗР. Материал *P. tritici-repentis* был собран в Саратовской области, *B. sorokiniana* – в Ленинградской области.

Для фитопатологической оценки растений, зараженных *P. tritici-repentis*, использовали шкалу, характеризующую степень развития некрозов и хлорозов (Конькова и др., 2023). Баллы 1/0 (хлороз/некроз) и 1/1 свидетельствовали об устойчивости образца пшеницы (R); 1/2, 2/1, 2/2 – умеренной устойчивости (MR); 2/3, 2/4 – умеренной восприимчивости (MS); 3/2, 3/3, 3/4 – восприимчивости (S); 4/3, 4/4, 4/5, 5/4, 5/5 – высокой восприимчивости (HS) к патогену.

При оценке устойчивости пшеницы к *B. sorokiniana* применяли шкалу, разработанную в ВИЗР (Конькова и др., 2023), где балл 1 – листья зеленые, с точечными пятнами темно-бурого цвета (устойчивость, R); 2 – листья зеленые, пятна размером до 1 мм (средняя устойчивость, MR); 3 – темно-бурые пятна до 2 мм, сливающиеся (умеренная восприимчивость, MS); 4 – листья хлоротичные, темно-бурые пятна достигают 3 мм (восприимчивость, S); 5 – листья хлоротичные, пятна более 3 мм, мацерация тканей (высокая восприимчивость, HS) (Конькова и др., 2023).

Геномную ДНК из листьев 5-суточных проростков пшеницы выделяли стандартным методом СТАВ/хлороформ (Doyle and Doyle, 1990).

Амплификацию геномной ДНК проводили в 25 мкл реакционной смеси: 2 мкл геномной ДНК (25 нг, допустимо от 2 до 50 нг), 1 мкл каждого праймера (10 пМ/мкл) (ЗАО «Евроген», Россия), 0,5 мкл смеси dNTPsmix (10 мМ, водный раствор dCTP, dGTP, dTTP и dATP) («TransGen», Китай), 0,55 мкл MgCl₂ (100 мМ), 0,5 мкл BioTaq ДНК-полимераза (5U, 5 ед/мкл) (ЗАО «Диалат Лтд.», Россия), 2,5 мкл 10½ ПЦР-буфера (ООО «Биолабмикс», Россия), 17 мкл ddH₂O. ПЦР осуществляли в амплификаторе С1000 TouchThermalCycler («Bio-Rad», США).

Скрининг образцов на наличие гена *Tsn1* проводили при помощи пары праймеров *Xfcp623(F)* и *Xfcp623(R)* – 5'-СТАТТСГТААТСТГТГССТТСССГ-3' и 5'-ССТТСТСТСАССГСТАТСТСАТС-3'. Наличие продукта амплификации маркера указывало на присутствие доминантного аллеля *Tsn1* (восприимчивость растения к белку-токсину гриба *ToxA*), отсутствие – на наличие рецессивного аллеля *tsn1* (устойчивость растения к *ToxA*) (Faris et al., 2010). Условия ПЦР были следующими: 3 мин при 94 °С; 30 с при 94 °С, 30 с при 60 °С, 1 мин при 72 °С (45 циклов); 72 °С при 5 мин (последний этап элонгации). Размер ампликона составлял 380 п.н. (Faris et al., 2010).

При скрининге на присутствие гена *Snn1* (Bertucci et al., 2014) использовали праймеры *Xfcp624(F)* и *Xfcp624(R)* –

5'-GTGCTGCTAAATGGATTCCSTAAGC-3' и 5'-CCAAACTGGCAAAGATTGAGC-3'. Присутствие ампликона размером 345 п.н. свидетельствовало о восприимчивости растения к белку-токсину гриба *Tox1*, отсутствие – о наличии рецессивного аллеля *snn1*, то есть об устойчивости к *Tox1*. Условия ПЦР: 5 мин при 94 °С; 30 с при 94 °С, 30 с при 65 °С, 1 мин 30 с при 72 °С (35 циклов); 72 °С при 7 мин (последний этап элонгации) (Bertucci et al., 2014).

Амплифицированные фрагменты разделяли методом электрофореза в 1,5 %-м агарозном геле. Размер фрагментов определяли с использованием ДНК-маркера Gene Ruler 100 bp («Thermo Fisher Scientific», США).

Статистическую обработку данных осуществляли в программе STATISTICA 12 («StatSoft, Inc.», США). Рассчитывали среднее поражение листовой пластины болезнями (*M*) и стандартные отклонения (\pm SD).

Результаты и их обсуждение. При заражении образцов пшеницы видом *Z. tritici* устойчивость проявили два сорта (ДальГАУ 2, Амурская 1495) и 3 селекционные линии (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-26-24) (33,3 % от изученных) (табл. 1). Остальные сортообразцы, находящиеся в испытании, были охарактеризованы как умеренно восприимчивые (MS). Их степень поражения фитопатогеном не превышала 40 %.

Таблица 1. Интенсивность поражения септориозом (%) селекционного материала яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ($M \pm SD$)
Table 1. Blotch intensity (%) of the breeding material of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) ($M \pm SD$)

Название/селекционный номер линии (идентифицированные гены)	Лабораторная оценка, %			
	<i>Zymoseptoria tritici</i>	<i>Parastago-nospora nodorum</i> (<i>ToxA</i> , <i>Tox1</i> , <i>Tox3</i> , <i>Tox267</i>)	<i>Parastago-nospora pseudonodorum</i> (<i>ToxA</i> , <i>Tox1</i> , <i>Tox3</i>)	<i>Septoria triticolica</i>
Сорта пшеницы				
ДальГАУ 1 (<i>tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	24±5,5 (MS)	40±10,0 (MS)	40±10,0 (MS)	27±2,7 (MS)
ДальГАУ 2 (<i>tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	17±2,7 (R)	32±4,5 (MS)	68±4,5 (S)	26±5,5 (MS)
ДальГАУ 3 (<i>Tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	26±4,2 (MS)	50±0,0 (S)	30±0,0 (MS)	25±0,0 (MS)
ДальГАУ 4 (<i>tsn1</i> , <i>snn1</i>)	30±6,1 (MS)	27±2,7 (MS)	40±0,0 (MS)	24±4,2 (MS)
Амурская 90 (<i>tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	28±2,7 (MS)	40±0,0 (MS)	62±11,0 (S)	17±0,0 (R)
Амурская 1495 (<i>tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	15±5,0 (R)	42±4,5 (MS)	68±4,5 (S)	34±5,5 (MS)
Селекционные линии				
КСИ-6-24 (<i>tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	13±4,5 (R)	40±0,0 (MS)	19±4,5 (R)	8±2,2 (RR)
КСИ-21-24 (<i>Tsn1</i> , <i>snn1</i>)	15±0,0 (R)	27±2,7 (MS)	17±2,7 (R)	8±2,2 (RR)
КСИ-22-24 (<i>tsn1</i> , <i>snn1</i>)	40±0,0 (MS)	27±2,7 (MS)	40±0,0 (MS)	17±2,7 (R)
КСИ-25-24 (<i>tsn1</i> , <i>snn1</i>)	34±8,2 (MS)	19±2,7 (R)	16±2,2 (R)	12±2,7 (R)
КСИ-26-24 (<i>Tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	16±2,2 (R)	35±5,0 (MS)	24±5,5 (MS)	30±0,0 (MS)
КСИ-35-24 (<i>Tsn1</i> , <i>Snn1</i>)	40±0,0 (MS)	40±0,0 (MS)	26±5,5 (MS)	40±0,0 (MS)

Примечание. Лабораторные испытания проведены в 2025 г. во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург). RR – высоко устойчивые, R – устойчивые, MS – умеренно восприимчивые, S – восприимчивые.

Устойчивостью к *P. nodorum* обладала линия КСИ-25-24 (8,3 % от изученных) (см. табл. 1). Сорт ДальГАУ 3 поразился на 50 %, что позволило отнести его в группу восприимчивых (S). Остальные сорта и линии проявили умеренную восприимчивость (MS) к фитопатогену.

Три линии, или 25 %, обладали устойчивостью (R) к *P. pseudonodorum* (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-25-24). К *S. triticolica* две линии

(КСИ-6-24, КСИ-21-24) проявили высокую устойчивость (RR), один сорт (Амурская 90) и две линии (КСИ-22-24, КСИ-25-24) – устойчивость (R) (всего 25 % от изученных).

С помощью молекулярных маркеров *Xfcp623* и *Xfcp624* детектировали присутствие аллелей *Tsn1* и *Snn1*, контролирующих чувствительность к токсинам *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* *ToxA* и *Tox1* (см. табл. 1, рис. 1).

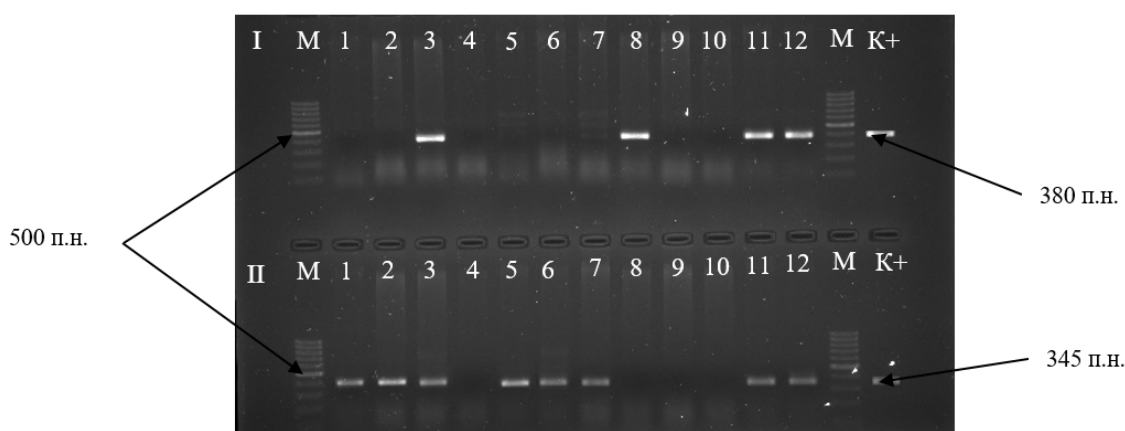


Рис. 1. I дорожка – электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с помощью праймеров *Xfcp623F/Xfcp623R*, специфичных для гена *Tsn1* (A);

II дорожка – электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с помощью праймеров *Xfcp624F/Xfcp624R*, специфичных для гена *Snn1*, у сортообразцов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.).

1 – Амурская 1495, 2 – ДальГАУ 1, 3 – ДальГАУ 3, 4 – ДальГАУ 4, 5 – Амурская 90, 6 – ДальГАУ 2, 7 – КСИ-6-24, 8 – КСИ-21-24, 9 – КСИ-22-24, 10 – КСИ-25-24, 11 – КСИ-26-24, 12 – КСИ-35-24.

Положительный контроль (K+) – сорт Glenlea (I) и сорт Мироновская 808 (II).

Размер диагностического фрагмента 380 п.н. (I) и 345 п.н. (II).

M – ДНК-маркер Step100 plus (ООО «Биолабмикс», Россия)

Fig. 1. Lane I – electropherogram of amplification products obtained using primers *Xfcp623F/Xfcp623R* specific for the *Tsn1* gene (A);

Lane II – electropherogram of amplification products obtained using primers *Xfcp624F/Xfcp624R* specific for the *Snn1* gene in common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.).

1 – ‘Amurskaya 1495’, 2 – ‘DalGAU 1’, 3 – ‘DalGAU 3’, 4 – ‘DalGAU 4’, 5 – ‘Amurskaya 90’, 6 – ‘DalGAU 2’, 7 – ‘KSI-6-24’, 8 – ‘KSI-21-24’, 9 – ‘KSI-22-24’, 10 – ‘KSI-25-24’, 11 – ‘KSI-26-24’, 12 – ‘KSI-35-24’.

Positive control (K+) – the variety ‘Glenlea’ (I) and the variety ‘Mironovskaya 808’ (II).

The size of the diagnostic fragment is 380 bp (I) and 345 bp (II).

M – DNA marker Step100 plus (“Biolabmix” LLC, Russia).

У сорта ДальГАУ 3 и селекционных линий КСИ-21-24, КСИ-26-24, КСИ-35-24 (33,3 % от числа изученных), контроля Glenlea – носителя *Tsn1* для маркера *Xfcp623* амплифицировался фрагмент 380 п.н. (Faris et al., 2010), который ассоциирован с геном *Tsn1*, чувствительным к токсину грибов *ToxA* (см. табл. 1, рис. 1). Генотипы остальных 5 сортов и 3 линий (66,7 % от числа изученных) содержали рецессивный аллель *tsn1*. Таким образом, сорта ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, ДальГАУ 4, Амурская 90, Амурская 1495 и селекционные линии КСИ-6-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24 защищены от *ToxA* на генетическом уровне благодаря наличию рецессивного аллеля *tsn1*. Токсин *PtrToxA* характерен не только для *P. nodorum* и *P. pseudonodorum*, но для опасного фитопатогена *Pyrenophora tritici-repentis* и вызывающего желтую пятнистость, или пиренофороз, пшеницы (Kumarbaeva et al., 2022). Полученные результаты позволяют предположить наличие генетической защиты у районированных сортов от токсина *ToxA*, синтезируемого тремя фитопатогенами.

У 5 сортов (ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, ДальГАУ 3, Амурская 90, Амурская 1495) и трех линий пшеницы (КСИ-6-24, КСИ-26-24, КСИ-35-24) был выявлен фрагмент ожидаемого размера 345 п.н.

(Bertucci et al., 2014) после амплификации их ДНК с праймером *Xfcp624* (66,7 % от изученных). Один сорт (ДальГАУ 4) и три селекционные линии (КСИ-21-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24) несут рецессивный аллель *snn1*. Таким образом, селекционный материал имеет генетическую защиту от токсина *Tox1* *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* (см. табл. 1, рис. 1).

Сорт ДальГАУ 4 и селекционные линии пшеницы КСИ-22-24 и КСИ-25-24 обладают генетической защитой от токсинов грибов *ToxA* и *Tox1*, так как обладают рецессивными аллелями генов *tsn1* и *snn1* (25 % от изученных).

При искусственном заражении популяцией возбудителя бурой ржавчины (*P. tritricina*) в лабораторных условиях два сорта (ДальГАУ 3, ДальГАУ 4) и три селекционные линии (КСИ-6-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24) (41,7% от изученных образцов пшеницы) продемонстрировали умеренную устойчивость к фитопатогену (MR) с баллом поражения 2 (см. табл. 2).

В результате лабораторной оценки сорт Амурская 1495 и линия КСИ-35-24 характеризовались умеренной устойчивостью (MR), линия КСИ-26-24 – устойчивостью (R) к популяции возбудителя стеблевой ржавчины (*P. graminis*) (см. табл. 2).

Таблица 2. Интенсивность поражения листовыми болезнями селекционного материала мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ($M \pm SD$)
Table 2. Damage intensity of the breeding material of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) by foliar diseases ($M \pm SD$)

Название/ селекционный номер линии	Лабораторная оценка, балл			
	<i>Puccinia triticina</i>	<i>Puccinia graminis</i>	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
Сорта пшеницы				
ДальГАУ 1	3 (MS)	3 (MS)	1/1 (R)	3 (MS)
ДальГАУ 2	3 (MS)	3 (MS)	1/1 (R)	3 (MS)
ДальГАУ 3	2 (MR)	3 (MS)	2/2 (MR)	1 (R)
ДальГАУ 4	2 (MR)	3 (MS)	2/2 (MR)	1 (R)
Амурская 90	3 (MS)	4 (S)	1/1 (R)	3 (MS)
Амурская 1495	4 (S)	2 (MR)	1/1 (R)	3 (MS)
Селекционные линии				
КСИ-6-24	2 (MR)	3 (MS)	2/2 (MR)	3 (MS)
КСИ-21-24	3 (MS)	3 (MS)	2/2 (MR)	3 (MS)
КСИ-22-24	2 (MR)	3 (MS)	2/2 (MR)	2 (MR)
КСИ-25-24	2 (MR)	3 (MS)	3/2 (S)	2 (MR)
КСИ-26-24	3 (MS)	1 (R)	1/1 (R)	3 (MS)
КСИ-35-24	3 (MS)	2 (MR)	2/2 (MR)	3 (MS)

Примечание. Лабораторные исследования по оценке селекционного материала к бурой (*P. triticina*) и стеблевой (*P. graminis*) ржавчинам – в 2025 г. в ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов), лабораторные исследования по оценке селекционного материала к пиренофорозу (*P. tritici-repentis*) и темно-бурой пятнистости (*B. sorokiniana*) – в 2025 г. во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербурга). RR – высоко устойчивые, R – устойчивые, MR – умеренно устойчивые, MS – умеренно восприимчивые, S – восприимчивые.

Можно предположить наличие у перечисленных линий и сортов эффективных *Lr*- и *Sr*-генов, обеспечивающих устойчивость к возбудителям бурой и стеблевой ржавчин. Что требует дополнительного исследования.

По результатам лабораторных испытаний устойчивую реакцию (R) к *P. tritici-repentis* проявили 4 сорта (ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, Амурская 90, Амурская 1495) и одна селекционная линия (КСИ-26-24) (см. таблицу 2). Линия КСИ-25-24 охарактеризована как восприимчивая (S). Остальные сорта и линии, находящиеся в испытании, проявили умеренную устойчивость (MR).

Устойчивостью (R) в стадии проростков к *B. sorokiniana* обладали два сорта (ДальГАУ 3, ДальГАУ 4) и две селекционные линии (КСИ-22-24, КСИ-25-24) (33,3 % от изученных образцов) (см. табл. 2).

В целом по результатам лабораторной оценки была установлена устойчивость сортов и селекционных линий пшеницы к 8 возбудителям болезней. Причем многие образцы обладали комплексной устойчивостью. Особенно следует отметить сорта и линии пшеницы, обладающие устойчивостью сразу к трем опасным фитопатогенам. Например, сорта Амурская 1495, ДальГАУ 3, ДальГАУ 4 и селекционные линии КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-22-24 (см. табл. 3).

Таблица 3. Образцы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), проявившие комплексную устойчивость к возбудителям болезней по результатам лабораторных испытаний
Table 3. Common wheat samples (*Triticum aestivum* L.) with complex resistance to pathogens according to the laboratory trials

Название	Патоген, к которому устойчив образец
Сорта пшеницы	
Амурская 1495	<i>Zyzo-septoria tritici</i> , <i>Puccinia graminis</i> , <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>
ДальГАУ 3, ДальГАУ 4	<i>P. triticina</i> , <i>P. tritici-repentis</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i>
ДальГАУ 2	<i>Z. tritici</i> , <i>P. tritici-repentis</i>
Амурская 90	<i>Septoria triticolica</i> , <i>P. tritici-repentis</i>
Селекционные линии	
КСИ-6-24, КСИ-21-24,	<i>Z. tritici</i> , <i>Parastagonospora pseudonodorum</i> , <i>S. triticolica</i>
КСИ-22-24	<i>P. triticina</i> , <i>P. tritici-repentis</i> , <i>B. sorokiniana</i>
КСИ-25-24	<i>P. nodorum</i> , <i>P. pseudonodorum</i>
КСИ-6-24	<i>P. triticina</i> , <i>P. tritici-repentis</i>
КСИ-26-24, КСИ-35-24	<i>P. graminis</i> , <i>P. tritici-repentis</i> ,
КСИ-25-24	<i>P. triticina</i> , <i>B. sorokiniana</i>

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить ценные источники и доноры устойчивости мягкой пшеницы к комплексу важных грибных болезней, что имеет большое

значение для селекции пшеницы на иммунитет.

По результатам проведенных испытаний устойчивость к *Z. tritici* проявили два сорта (ДальГАУ 2, Амурская 1495) и три селекционные линии (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-26-24) мягкой пшеницы селекции Дальневосточного ГАУ. Устойчивостью к *P. nodorum* обладала линия КСИ-25-24. Три линии обладали устойчивостью к *P. pseudonodorum* (КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-25-24). К *S. triticolica* две линии (КСИ-6-24, КСИ-21-24) проявили высокую устойчивость, один сорт (Амурская 90) и две линии (КСИ-22-24, КСИ-25-24) – устойчивость.

С помощью маркера *Xfcp623* показано, что сорта ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, ДальГАУ 4, Амурская 90, Амурская 1495 и селекционные линии КСИ-6-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24 защищены от токсина *ToxA* грибов *P. nodorum*, *P. pseudonodorum*, *P. tritici-repentis* на генетическом уровне благодаря наличию рецессивного аллеля *tsn1*. После амплификации ДНК селекционного материала с праймером *Xfcp624* показано, что один сорт (ДальГАУ 4) и три селекционные линии (КСИ-21-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24) несут рецессивный аллель *snn1*

и имеют генетическую защиту от токсина *Tox1 P. nodorum* и *P. pseudonodorum*.

Два сорта (ДальГАУ 3, ДальГАУ 4) и три селекционные линии (КСИ-6-24, КСИ-22-24, КСИ-25-24) продемонстрировали умеренную устойчивость к бурой ржавчине (*P. triticina*). Сорт Амурская 1495 и линия КСИ-35-24 характеризовались умеренной устойчивостью, линия КСИ-26-24 – устойчивостью к стеблевой ржавчине (*P. graminis*). Устойчивую реакцию к *P. tritici-repentis* проявили 4 сорта (ДальГАУ 1, ДальГАУ 2, Амурская 90, Амурская 1495) и одна селекционная линия (КСИ-26-24). Устойчивостью к *B. sorokiniana* обладали два сорта (ДальГАУ 3, ДальГАУ 4) и две селекционные линии (КСИ-22-24, КСИ-25-24). Таким образом, по результатам лабораторной оценки была установлена устойчивость сортов и селекционных линий пшеницы к 8 возбудителям болезней. Особенно следует отметить сорта и линии пшеницы, обладающие устойчивостью сразу к трем опасным фитопатогенам. Например, сорта Амурская 1495, ДальГАУ 3, ДальГАУ 4 и селекционные линии КСИ-6-24, КСИ-21-24, КСИ-22-24.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005.

Библиографический список

1. Конькова Э. А., Лящева С. В., Зеленева Ю. В., Коваленко Н. М. Характеристика перспективных сортов пшеницы (*Triticum aestivum* L.), допущенных к возделыванию в Нижневолжском регионе, по устойчивости к возбудителям пиренофорозной и темно-бурой пятнистости // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 5. С. 852–863. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.5.852rus
2. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Амурской области в 2024 году и прогноз развития вредных объектов в 2025 году. Благовещенск: Изд-во ООО «ИПК «Одеон», 2025. 122 с.
3. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Амурской области [Электронный ресурс]. URL: <https://agro.amurobl.ru/> (дата обращения: 07.04.2025).
4. Судникова В. П., Зеленева Ю. В., Гусев И. В., Конькова Э. А., Коваленко Н. М. Новые источники и доноры пшеницы с высоким потенциалом комплексной устойчивости к особо опасным болезням // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, № 1. С. 3–20. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus
5. Bertucci M., Brown-Guedira G., Murphy J. P., Cowger C. Genes conferring sensitivity to *Stagonospora nodorum* necrotrophic effectors in *Stagonospora nodorum* blotch-susceptible U.S. wheat cultivars // Plant Disease. 2014. Vol. 98, № 6. P. 746–753. DOI: 10.1094/PDIS-08-13-0820-RE
6. Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue // Focus. 1990. Vol. 12, № 1. P. 13–15.
7. Faris J. D., Zhang Z., Lu H. J., Lu S. W., Reddy L., Cloutier S., Fellers J. P., Meinhardt S. W., Rasmussen J. B., Xu S. S., Oliver R. P., Simons K. J., Friesen T. L. A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens // PNAS. 2010. Vol. 107, № 30. P. 13544–13549. DOI: 10.1073/pnas.1004090107
8. Friesen T. L., Faris J. D. Characterization of effector-target interactions in necrotrophic pathosystems reveals trends and variation in host manipulation // Annu Rev Phytopathol. 2021. Vol. 59. P. 77–98. DOI: 10.1146/annurev-phyto-120320-012807
9. Gulyaeva E., Gannibal Ph., Shaydayuk E. Long-Term Studies of Wheat Leaf Rust in the North-Western Region of Russia // Agriculture. 2023. Vol. 13, № 2. Article number: 255. DOI: 10.3390/agriculture13020255
10. Kariyawasam G. K., Nelson A. C., Williams S. J., Solomon P. S., Faris J. D., Friesen T. L. The necrotrophic pathogen *Parastagonospora nodorum* is a master manipulator of wheat defense // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2023. Vol. 36, № 12. P. 764–773. DOI: 10.1094/MPMI-05-23-0067-IRW
11. Kokhmetova A., Bolatbekova A., Zeleneva Y., Malysheva A., Bastaubayeva S., Bakhytuly K., Dutbayev Y., Tsygankov V. Identification of wheat *Septoria tritici* resistance genes in wheat germplasm using molecular markers // Plants. 2024. Vol. 13, № 8. Article number: 1113. DOI: 10.3390/plants13081113
12. Kumarbaeva M., Kokhmetova A., Kovalenko N. M., Atishova M., Keishilov Z. H., Aitymbetova K. Characterization of *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot of wheat) races in Kazakhstan // Phytopathologia Mediterranea. 2022. Vol. 61, № 2. P. 243–257. DOI: 10.36253/phyto-13178
13. Richards J. K., Kariyawasam G. K., Seneviratne S., Wyatt N. A., Xu S. S., Liu Z., Friesen T. L. A triple threat: the *Parastagonospora nodorum* Sn *Tox267* effector exploits three distinct host genetic factors to cause disease in wheat // New Phytologist. 2022. Vol. 233, № 1. P. 427–442. DOI: 10.1111/nph.17601

14. Waites J., Achary V. M. M., Syombua E. D., Hearne S. J., Bandyopadhyay A. CRISPR-mediated genome editing of wheat for enhancing disease resistance // *Frontiers in Genome Editing*. 2025. Vol. 7, P. 1542487. DOI: 10.3389/fgeed.2025.1542487

References

- Kon'kova E. A., Lyashcheva S. V., Zeleneva Yu. V., Kovalenko N. M. Kharakteristika perspektivnykh sortov pshenitsy (*Triticum aestivum* L.), dopushchennykh k vozdeleyvaniyu v Nizhnevolzhskom regione, po ustoichivosti k vozbuditelyam pirenoforoznoi i temno-buroi pyatnistosti [Characteristics of promising wheat varieties (*Triticum aestivum* L.), approved for cultivation in the Lower Volga region, according to resistance to pathogens of pyrenophorous and dark brown blotch] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2023. T. 58, № 5. S. 852–863. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.5.852rus
- Obzor fitosanitarnogo sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Amurskoi oblasti v 2024 godu i prognoz razvitiya vrednykh ob"ektov v 2025 [Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Amur region in 2024 and forecast of the development of harmful objects in 2025]. Blagoveshchensk: Izd-vo OOO «IPK «Odeon», 2025. 122 s.
- Ofitsial'nyi sait Ministerstva sel'skogo khozyaistva Amurskoi oblasti [Official website of the Ministry of Agriculture of the Amur Region] [Elektronnyi resurs]. URL: <https://agro.amurobl.ru/> (data obrashcheniya: 07.04.2025).
- Sudnikova V. P., Zeleneva Yu. V., Gusev I. V., Kon'kova E. A., Kovalenko N. M. Novye istochniki i donory pshenitsy s vysokim potentsialom kompleksnoi ustoichivosti k osobo opasnym boleznyam [New sources and donors of wheat with a high potential for complex resistance to especially dangerous diseases] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2025. T. 60, № 1. S. 3–20. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.3rus
- Bertucci M., Brown-Guedira G., Murphy J. P., Cowger C. Genes conferring sensitivity to *Stagonospora nodorum* necrotrophic effectors in *Stagonospora nodorum* blotch-susceptible U.S. wheat cultivars // *Plant Disease*. 2014. Vol. 98, № 6. P. 746–753. DOI: 10.1094/PDIS-08-13-0820-RE
- Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue // *Focus*. 1990. Vol. 12, № 1. P. 13–15.
- Faris J. D., Zhang Z., Lu H. J., Lu S. W., Reddy L., Cloutier S., Fellers J. P., Meinhardt S. W., Rasmussen J. B., Xu S. S., Oliver R. P., Simons K. J., Friesen T. L. A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens // *PNAS*. 2010. Vol. 107, № 30. P. 13544–13549. DOI: 10.1073/pnas.1004090107
- Friesen T. L., Faris J. D. Characterization of effector-target interactions in necrotrophic pathosystems reveals trends and variation in host manipulation // *Annu Rev Phytopathol*. 2021. Vol. 59, P. 77–98. DOI: 10.1146/annurev-phyto-120320-012807
- Gulyaeva E., Gannibal Ph., Shaydayuk E. Long-Term Studies of Wheat Leaf Rust in the North-Western Region of Russia // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 2. Article number: 255. DOI: 10.3390/agriculture13020255
- Kariyawasam G. K., Nelson A. C., Williams S. J., Solomon P. S., Faris J. D., Friesen T. L. The necrotrophic pathogen *Parastagonospora nodorum* is a master manipulator of wheat defense // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2023. Vol. 36, № 12. P. 764–773. DOI: 10.1094/MPMI-05-23-0067-IRW
- Kokhmetova A., Bolatbekova A., Zeleneva Y., Malysheva A., Bastaubayeva S., Bakhytuly K., Dutbayev Y., Tsygankov V. Identification of wheat *Septoria tritici* resistance genes in wheat germplasm using molecular markers // *Plants*. 2024. Vol. 13, № 8. Article number: 1113. DOI: 10.3390/plants13081113
- Kumarbaeva M., Kokhmetova A., Kovalenko N. M., Atishova M., Keishilov Z. H., Aitymbetova K. Characterization of *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot of wheat) races in Kazakhstan // *Phytopathologia Mediterranea*. 2022. Vol. 61, № 2. P. 243–257. DOI: 10.36253/phyto-13178
- Richards J. K., Kariyawasam G. K., Seneviratne S., Wyatt N. A., Xu S. S., Liu Z., Friesen T. L. A triple threat: the *Parastagonospora nodorum* SnTox267 effector exploits three distinct host genetic factors to cause disease in wheat // *New Phytologist*. 2022. Vol. 233, № 1. P. 427–442. DOI: 10.1111/nph.17601
- Waites J., Achary V. M. M., Syombua E. D., Hearne S. J., Bandyopadhyay A. CRISPR-mediated genome editing of wheat for enhancing disease resistance // *Frontiers in Genome Editing*. 2025. Vol. 7, P. 1542487. DOI: 10.3389/fgeed.2025.1542487

Поступила: 24.04.25; доработана после рецензирования: 04.06.25; принята к публикации: 06.06.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Колесникова Т. П. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Терехин Н. М. – сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Зеленева Ю. В. – концептуализация исследования, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Конькова Э. А. – проведение лабораторных опытов, подготовка рукописи; Коваленко Н. М. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.