

## ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.11:631.527:632.4

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального НечерноземьяБ. Б. Наджодов<sup>1,2</sup>, В. С. Рубец<sup>2,3</sup><sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия<sup>3</sup> Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Бобурджон Баходурович Наджодов, boburnajodov@gmail.com

**Актуальность.** Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур в мире. В условиях центрального района Нечерноземной зоны России значительную угрозу для урожая представляет мучнистая роса (возбудитель – *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer.), что обуславливает актуальность селекции устойчивых сортов для обеспечения стабильной урожайности и качества зерна. Цель исследования – выявление сортов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения с высокой устойчивостью к мучнистой росе для последующего использования в селекции.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на естественном инфекционном фоне на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева с 2022 по 2024 г. Материалом для исследования послужили 43 образца яровой мягкой пшеницы российской и зарубежной селекции. В качестве стандарта использовался районированный сорт 'Злата'. Площадь делянки – 1 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная. В течение вегетации осуществляли фенологические наблюдения и оценку устойчивости растений к мучнистой росе. Использовали балловую шкалу, где 1 балл соответствует восприимчивости (S), 3 балла – умеренной восприимчивости (MS), 5 баллов – умеренной устойчивости (MR), 7–9 баллов – высокой устойчивости (R) растений. Делянки убирали вручную, обмолот осуществляли на сноповой молотилке МПТУ-500, учет урожайности – путем взвешивания. Результаты обрабатывали однофакторным дисперсионным и корреляционным анализами.

**Результаты и заключение.** Корреляционный анализ выявил умеренную положительную связь ( $r = 0,49^{**}$ ) между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе. Выделены образцы с высокой устойчивостью к болезни: 'Саратовская 74', 'Симбирцит', 'Ласка', 'Мандарина', 'Агата', 'Фаворит' и линии № 23, № 70 и № 215. Урожайность резистентных сортов 'Симбирцит' и 'Мандарина' за годы изучения превышала продуктивность районированного сорта 'Злата'. Эти образцы рекомендуется использовать в селекции устойчивых сортов яровой пшеницы.

**Ключевые слова:** мягкая пшеница, сорт, образец, *Blumeria graminis*, корреляционный анализ, генетические источники устойчивости

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке стипендиальной программы Правительства РФ для иностранных аспирантов.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Наджодов Б.Б., Рубец В.С. Устойчивость яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к мучнистой росе в условиях Центрального Нечерноземья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(2):218-227. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

## IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew under the conditions of the Central Non-Black-Earth RegionBoburjon B. Najodov<sup>1,2</sup>, Valentina S. Rubets<sup>2,3</sup><sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia<sup>2</sup> All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia<sup>3</sup> Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**Corresponding author:** Boburjon B. Najodov, boburnajodov@gmail.com

**Background.** Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the world's most important food crops. In the central area of Russia's Non-Black-Earth Region, powdery mildew (caused by *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer) poses a significant threat to yield. This underscores the importance of breeding resistant cultivars to ensure stable grain production and quality. The objective of this study was to identify spring bread wheat cultivars of diverse ecogeographic origin with high resistance to powdery mildew for their subsequent use in breeding programs.

**Materials and methods.** The study was conducted from 2022 to 2024 under natural infection conditions at the Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The study included 43 spring bread wheat accessions from both Russian and international breeding programs. The zoned cv. 'Zlata' served as a reference. Experiments were performed on 1 m<sup>2</sup> plots, with three replications. Throughout the growing season, phenological observations were made and powdery mildew resistance was assessed using a 9-point scale, where 1 point indicated susceptibility (S); 3 points, moderate susceptibility (MS); 5 points, moderate resistance (MR); and 7–9 points, high resistance (R). Harvesting was done manually, threshing was performed using an MPTU-500 bundle thresher, and yield was recorded by weight.

**Results and conclusion.** The correlation analysis revealed a moderate positive relationship ( $r = 0.49^{**}$ ) between yield and powdery mildew resistance. Accessions with high resistance to the disease were selected: 'Saratovskaya 74', 'Simbirtsit', 'Laska', 'Mandarina', 'Agata', 'Favorit', and lines Nos. 23, 70 and 215. The yield of the resistant cvs. 'Simbirtsit' and 'Mandarina' over the years of study exceeded the productivity of the zoned cv. 'Zlata'. These accessions are recommended for use in breeding programs aimed at developing resistant spring wheat cultivars.

**Keywords:** bread wheat, cultivar, accession, *Blumeria graminis*, correlation analysis, genetic resistance sources

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Government Scholarship Program for International PhD students. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Najodov B.B., Rubets V.S. Resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to powdery mildew under the conditions of the Central Non-Black-Earth Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):218-227. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-218-227

## Введение

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из самых распространенных культур в мире, используемых для получения продовольствия и кормов для животных. Благодаря своей универсальности и высокой питательной ценности, яровая пшеница выращивается на больших площадях во многих странах, включая Россию, где ее посевы составляют значительную часть сельскохозяйственного производства (Sheshegova et al., 2023).

По урожайности яровая пшеница уступает озимой, однако превосходит ее по качеству (Najodov, 2024). Существенный урон сбору зерна наносят болезни. Одной из наиболее распространенных из них является мучнистая роса. Возбудителем болезни является биотрофный гриб (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Golovin ex Speer.), распространяющийся воздушно-капельным путем и широко встречающийся в регионах выращивания пшеницы (Li et al., 2024; Wang et al., 2024).

По литературным данным, к настоящему времени известно более 100 аллелей устойчивости к мучнистой росе в 69 локусах (*Pm1–Pm69*). Большинство генов доминантны и экспрессируются на протяжении всего онтогенеза растений (Maruranga et al., 2022). С момента идентификации первого гена устойчивости *Pm1* в 1952 г. было последовательно выявлено и официально каталогизировано 69 генов *Pm* (McIntosh et al., 2020; He et al., 2021; Li et al., 2023). Однако до сих пор лишь 16 из этих генов клонированы (Li et al., 2024). В открытом доступе отсутствует единая база данных, систематизирующая информацию по этой болезни аналогично ресурсам, посвященным различным видам ржавчины (McIntosh

et al., 2020). Это может затруднять поиск данных о генах устойчивости у конкретных сортов, особенно при отборе исходного материала для создания гибридных популяций.

Общеизвестно, что наиболее выгодным и экологически безопасным способом борьбы с болезнью является создание новых устойчивых сортов. Однако устойчивость с течением времени утрачивается из-за появления новых агрессивных рас *B. graminis*, что обусловлено высокой генетической изменчивостью возбудителя, который за год может образовывать несколько генераций в форме вегетативных конидий, а также аскоспор. Это требует от селекционеров активного поиска новых эффективных генов устойчивости к мучнистой росе для их введения в новые сорта (Lebedeva, Zuev, 2015).

Целью данного исследования было выявление сортов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения с высокой устойчивостью к мучнистой росе для последующего использования в селекционной работе.

## Материалы и методы

В исследование включили 43 образца яровой мягкой пшеницы, созданных в различных научно-исследовательских учреждениях России и мира (табл. 1). В качестве умеренно восприимчивого (MS) стандарта использовали сорт 'Злата' селекции ФИЦ «Немчиновка». Изученные сорта находятся в двух базах данных: паспортной базе данных генетических ресурсов растений ВИР (<http://91.151.189.38:8080/virdb/maindb>) и Информационной системе генетических ресурсов пшеницы и тритикале GRIS (<http://www.wheatpedigree.net>).

**Таблица 1.** Происхождение сортов и линий пшеницы, используемых в исследовании

**Table 1.** Origin of wheat cultivars and lines used in the study

№ по каталогу ВИР и СИММУТ	Страна	Родословная / гибридная комбинация
'Злата' (st) (к-66013)	Россия	F4 ('Иволга' × 'Прохоровка')
'Саратовская 74' (к-65139)	Россия	('Саратовская 68' × 'Альбидум 2093') × ('Альбидум 2093' × 'Саратовская 70')
'Агата' (к-66004)	Россия	'Артемовка' × 'Мильтурум 63'
'Тулайковская 108' (к-65452)	Россия	'Тулайковская Белозерная' × 'Лютесценс 1222'
'Симбирцит'(к-64548)	Россия	('Крестьянка' × 'Ишеевская') × Л 503
'Тюменская 29' (к-65247)	Россия	БТ-34 × 'Лютесценс 70'
'Обская 2' (к-65846)	Россия	'Новосибирская 20' × 'Тулайковская 10'
'Тобольская' (к-66414)	Россия	Лютесценс 123/с × 'Омская 20'
'Алтайская Жница' (к-64851)	Россия	'Комсомольская 90' × 'Лютесценс 281'
'Маргарита' (к-64851)	Россия	Линия (550/93 × 368/91)
'Учитель' (к- 64645)	Россия	('Оренбургская 1' × 'Целиноградка') × ('Московская 35' × 'Леукоспермум 51') × 'Оренбургская 7'
'Фаворит' (к-64998)	Россия	'Лютесценс 2033' × 'Белянка'
'Гранни' (к-64700)	Чехия	line U236g × winter wheat – line 513
'Тризо'(к-64981)	Германия	'Kadett' × 'Weihenstephan Stamm'
'Ирень' (к-62633)	Россия	'Иргина' × 'Красноуфимская 90'
'Бомбона'(к-65254)	Польша	–

Таблица 1. Окончание  
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР и СИММУТ	Страна	Родословная / гибридная комбинация
Л-57 (линия)	Россия	Л503 × 'Жозефина'
'Ласка' (к-66421)	Беларусь	F-2498-W-1-2 × Obrill
'Арабелла' (к-67334)	Польша	CSw38337 × КОС 1284
'Гранова' (к-67159)	Россия	Индивидуальный отбор из сорта 'Гранни'
'Мандарина'	Польша	-
Золушка (линия)	Россия	-
'Канюк' (к-64851)	Франция	'Belvoir' × [('Mexikaner' × 'Sappo') × 'Sokrates']
Линия № 23	СИММУТ	Gle*2//PBW343*2/Tukuru
Линия № 35	СИММУТ	Long Chun 15*2/4/Croc1/Ae. squarrosa (224) //Yaco/3/Munia
Линия № 59	СИММУТ	Gle//Prl/2*Pastor/3/Omskaya 33
Линия № 65	СИММУТ	Croc1/Ae. squarrosa (205)/ Kauz/3/Sasia/4/Chuan Mai 28
Линия № 66	СИММУТ	Lutescens 258.92.3/Gle
Линия № 67	СИММУТ	Pavlodarskaya 93/Sunstate
Линия № 70	СИММУТ	Sonata/Vorb.
Линия № 79	СИММУТ	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
Линия № 147	СИММУТ	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
Линия № 150	СИММУТ	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 151	СИММУТ	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 152	СИММУТ	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия № 153	СИММУТ	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee
Линия № 178	СИММУТ	Omskaya 37/5/Seri*3//Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
Линия № 187	СИММУТ	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/Ae. squarrosa
Линия № 215	СИММУТ	53.94.98.2/3/T. dicoccum PI 94625/Ae. squarrosa
Линия № 217	СИММУТ	Fiton42/3/T. dicoccum PI94625/Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.9
Линия № 220	СИММУТ	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия № 221	СИММУТ	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Образцы пшеницы высевали на Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в 2022–2024 гг. (55°50'14" с. ш., 37°33'11" в. д., высота над уровнем моря 160 м). Агротехника – общепринятая для зоны. Посев – кассетной селекционной сеялкой СКС-6-10, площадь делянки – 1 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, размещение систематическое (Dospikhov, 1985). Полевые наблюдения включали оценку устойчивости образцов пшеницы к мучнистой росе на естественном инфекционном фоне в центральном районе Нечерноземной зоны (ЦРНЗ). Устойчивость оценивали в фазу колошения, а затем – во время цветения согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции пшеницы (Dorofeev et al., 1977; Merezhko, 1999; Krivchenko et al., 2008). Использовали балловую шкалу, где 1 балл (очень низкая устойчивость) означал сильное поражение (более 50–100% пораженной поверхности листа), 3 балла (низкая устойчивость) – силь-

ное поражение (50%), 5 баллов (средняя устойчивость) – среднее поражение (20–30%), 7 баллов (высокая устойчивость) – слабое поражение (10–20%), а 9 баллов (очень высокая устойчивость) означал отсутствие поражения (0%). Образцы, поражение которых составляло 7–9 баллов, считали высокоустойчивыми (R), 5 баллов – умеренно устойчивыми (MR), 3 балла – умеренно восприимчивыми (MS), 1 балл – восприимчивыми (S) (Lebedeva et al., 2023). Уборку проводили вручную, обмолот – на сноповой молотилке. Учет урожая осуществляли путем взвешивания зерна, полученного с каждой делянки (площадью 1 м<sup>2</sup>) отдельно. Среднюю урожайность рассчитывали на основе трех повторностей для каждой делянки. Статистическая обработка данных выполнена с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для обработки данных и визуализации графиков использовали язык программирования R версии 4.4.2.

## Результаты и обсуждение

Метеорологические условия, сложившиеся в период вегетации яровой пшеницы, существенно влияют на степень поражения растений мучнистой росой. Известно, что возбудитель сильнее поражает растения, ослабленные стрессовыми факторами. Высокая влажность воздуха (в виде осадков или росы) способствует инокуляции растений. Таким образом, анализ погодных условий в годы исследований позволяет выявить провокационные факторы, связанные с влажностью и температурным режимом, которые либо способствовали, либо препятствовали развитию мучнистой росы в исследуемых посевах яровой пшеницы

В 2022 г. посев провели 5 мая. Метеорологические условия способствовали хорошему начальному росту растений пшеницы – среднесуточная температура была умеренной при хорошем увлажнении (рис. 1). В результате растения сформировали достаточно большую вегетативную массу, смогли сформировать боковые побеги. В начале фазы «выход в трубку» температура повысилась при достаточном увлажнении. Первое проявление мучнистой росы зафиксировали на восприимчивых сортах в фазе выхода в трубку. Фазы «колошение» и «цветение» проходили при практически полном отсутствии осадков на фоне повышенных среднесуточных температур, что ускорило развитие растений, сократило период цветения. Заболевание продолжало развиваться на фазах колошения и цветения, что связано с отсутствием осадков и благоприятными среднесуточными температурами, которые способствовали формированию провокационного фона. Быстрота прогрессирования патогена зависела от устойчивости сортов: на восприимчивых сортах развитие болезни шло быстрее, чем на устойчивых.

Поражение восприимчивых образцов в 2022 г. составляло 1–3 балла. Сорт 'Злата' характеризовался умеренной устойчивостью (5 баллов). На уровне устойчивости стандарта находились следующие образцы: 'Тулайковская 108', 'Тобольская', 'Алтайская Жница', 'Маргарита', 'Гранни', 'Тризо', 'Ирень', 'Л-57 (линия)', 'Гранова', линии № 59, № 67, № 147, № 151, № 153 и № 223. Образцы 'Учитель', 'Золушка (линия)', линии № 35, № 66, № 79, № 152 и № 217 продемонстрировали более высокую степень поражения (1–3 балла), что указывает на их восприимчивость к мучнистой росе. В то же время высокую устойчивость (7 баллов) показали образцы 'Саратовская 74', 'Агата', 'Обская 2', 'Фаворит', 'Канюк', линии № 23, № 150, № 178, № 187, № 215 и № 221. Максимальную устойчивость (иммунитет, 9 баллов) проявили образцы 'Симбирцит', 'Тюменская 29', 'Бомбона', 'Ласка', 'Арабелла', 'Мандарина', линии № 65, № 70 и № 220 (табл. 2).

В 2023 г. посев произвели 22 апреля, что позволило эффективно использовать тепловые ресурсы ранней весны. Умеренное увлажнение и достаточная теплообеспеченность способствовали дружным всходам. Однако в мае вегетация проходила в условиях значительного дефицита осадков, что привело к ускоренному развитию растений, сокращению листовой поверхности, уменьшению количества элементов продуктивности колоса и снижению высоты растений (см. рис. 1). Выпавшие осадки в фазу колошения не смогли улучшить ситуацию. Цветение растений проходило в условиях засухи при умеренной температуре. Во второй и третьей декадах июля количество осадков превысило среднегодовое значение более чем в два раза, сопровождаясь уме-

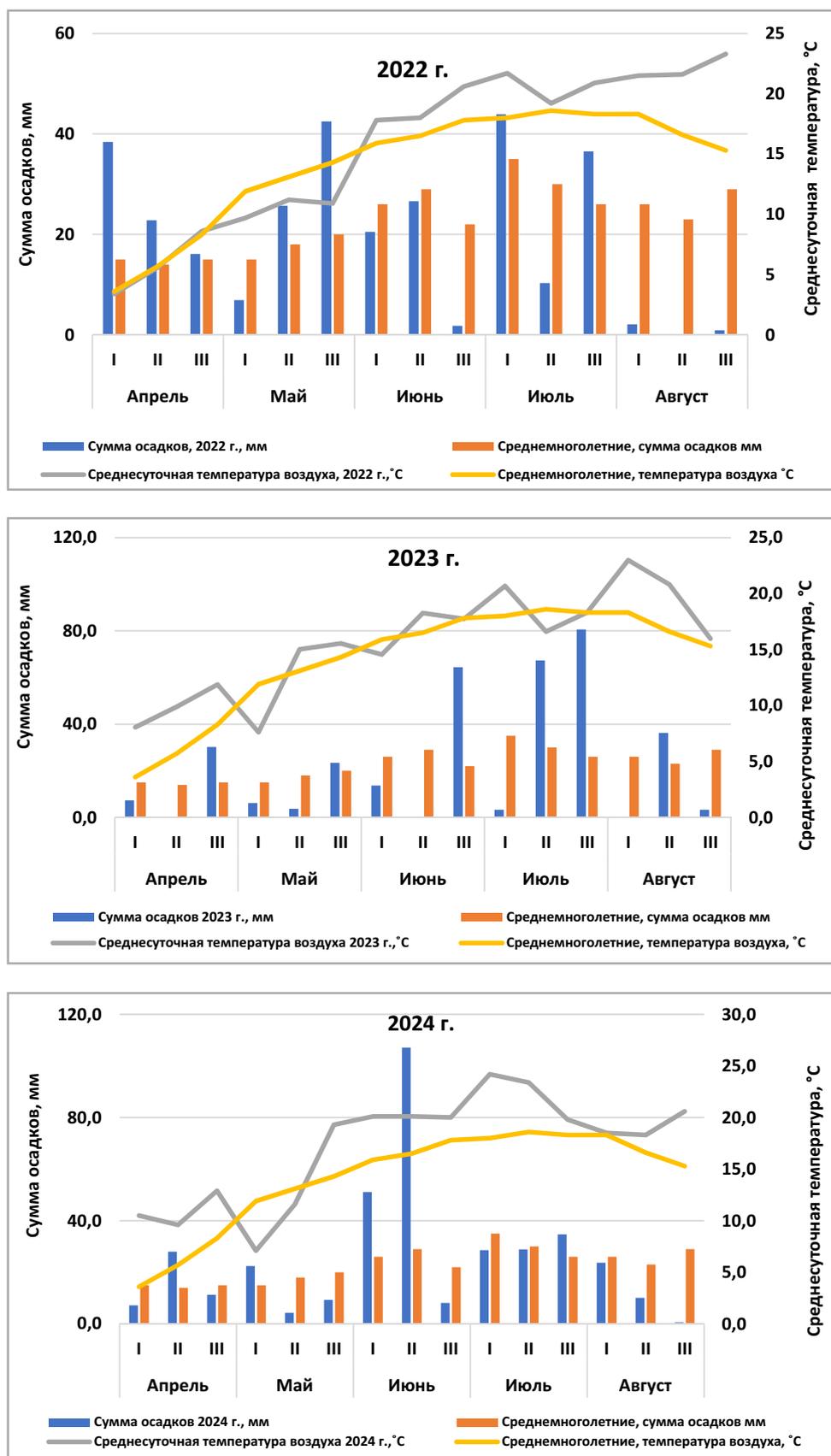
ренной температурой. Эти условия привели к образованию большого числа боковых побегов, которые развивались несвоевременно и ослабляли основные стебли растений. В результате пластические вещества, предназначенные для формирования зерна, были перераспределены на развитие боковых побегов. К моменту уборки боковые побеги находились в фазе цветения и не внесли вклада в формирование урожая, который оказался очень низким. Такие метеорологические условия можно охарактеризовать как провокационные, так как они могли способствовать развитию мучнистой росы. В 2023 г. первые признаки поражения мучнистой росой зафиксировали в фазу колошения на сортах с низкой устойчивостью (1–3 балла). В фазе цветения наблюдалось увеличение степени поражения, особенно в условиях повышенной влажности и умеренных температур. На сортах со средней устойчивостью (5 баллов) симптомы проявлялись позже и были менее выраженными. Максимальную устойчивость (9 баллов) продемонстрировали 'Саратовская 74', 'Агата', 'Тулайковская 108', 'Л-57 (линия)', 'Арабелла', 'Гранова', 'Мандарина' и линия № 70, поражение которых не отмечалось в течение всего периода вегетации (см. табл. 2).

В 2024 г. посев состоялся 29 апреля, после чего наблюдалось резкое понижение температуры с осадками в виде снега (см. рис. 1). Это задержало появление всходов на две недели. Дальнейшая вегетация растений проходила в условиях засухи, что ускорило развитие растений яровой пшеницы, аналогично 2023 г. Выпавшие впоследствии в фазы колошения и цветения чрезмерно обильные осадки при повышенных среднесуточных температурах создали хорошие условия для болезней, что, в частности, спровоцировало активное развитие комплекса грибных патогенов: септориоза, фузариоза и различных видов ржавчины (желтой, листовой и стеблевой). Распространение мучнистой росы в 2024 г. было менее значительным в сравнении с предыдущими годами изучения. Это может быть связано с высокой среднесуточной температурой в первой и второй декадах июля, а также с конкурентным взаимодействием с другими видами фитопатогенных грибов.

На основе данных 2024 г., наиболее пораженными (3 балла) оказались Золушка (линия), линии № 150 и № 223, что указывает на их высокую восприимчивость к местным расам мучнистой росы и ограничивает их использование в регионах с повышенным инфекционным фоном (см. табл. 2). Иммуитет к мучнистой росе (9 баллов) продемонстрировали 18 образцов яровой мягкой пшеницы. Высокую устойчивость (7 баллов) наблюдали у образцов 'Агата', 'Гранова', 'Мандарина', 'Канюк', линий № 59, № 178, № 215 и № 221. Умеренную устойчивость (5 баллов) проявили 'Тулайковская 108', 'Тюменская 29', 'Обская 2', 'Алтайская Жница', 'Ирень', 'Арабелла', линии № 67, № 147, № 151, № 152, № 153 и № 220.

По литературным данным, немецкий сорт 'Тризо' содержит 3 гена устойчивости: *Pm1*, *Pm4b*, *Pm5a* (<http://www.wheatpedigree.net>), а у чешского сорта 'Гранни' был идентифицирован аллель *Pm3d* (Lin et al., 2024). Наши исследования показали, что данные гены обеспечивают умеренную устойчивость сортов к мучнистой росе (см. табл. 2).

Все исследуемые генотипы пшеницы достигли максимальной урожайности зерна в 2022 г. (284–717 г/м<sup>2</sup>), когда метеорологические условия вегетационного периода были близки к среднегодовым значениям. В другие годы урожайность варьировала в пределах от 130 до



**Рис. 1.** Среднесуточная температура воздуха и сумма осадков в период вегетации яровой пшеницы (по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)

**Fig. 1.** Mean daily air temperatures and total precipitation during the growing season of spring wheat (based on the data from the V.A. Mikhelson Meteorological Observatory, Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)

**Таблица 2. Результаты оценки устойчивости к мучнистой росе и урожайности образцов яровой пшеницы за 2022–2024 гг. (Полевая опытная станция РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)****Table 2. Powdery mildew resistance and yield assessment results for spring wheat accessions in 2022–2024 (Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)**

Образец	Устойчивость, балл			Урожайность, г/м <sup>2</sup>			
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	средняя
‘Злата’ (контроль)	5,0	5,0	9,0	423,0	272,1	308,7	356,3
‘Саратовская 74’	7,0	9,0	9,0	426,2	288,7	231,9	345,8
‘Агата’	7,0	9,0	7,0	415,6	270,7	189,5	333,2
‘Тулайковская 108’	5,0	9,0	5,0	294,4	252,1	356,5	332,5
‘Симбирцит’	9,0	7,0	9,0	483,5	269,0	313,6	386,2
‘Тюменская 29’	9,0	7,0	5,0	434,3	232,1	277,9	345,2
‘Обская 2’	7,0	5,0	5,0	469,3	258,9	397,5	406,3
‘Тобольская’	5,0	5,0	9,0	497,4	315,8	273,6	403,5
‘Алтайская Жница’	5,0	5,0	5,0	417,4	267,7	336,5	370,6
‘Маргарита’	5,0	7,0	9,0	717,0	353,7	252,8	453,2
‘Учитель’	3,0	3,0	9,0	466,4	219,4	164,6	290,6
‘Фаворит’	7,0	7,0	9,0	498,8	201,4	205,3	354,2
‘Гранни’	5,0	5,0	9,0	500,7	282,0	198,7	362,3
‘Тризо’	5,0	5,0	9,0	431,4	276,8	227,5	333,3
‘Ирень’	5,0	5,0	5,0	440,4	256,1	252,9	328,4
‘Бомбона’	9,0	3,0	9,0	392,2	228,4	217,3	279,3
Л-57 (линия)	5,0	9,0	9,0	324,5	236,6	208,4	256,5
‘Ласка’	9,0	7,0	9,0	527,0	255,1	274,7	352,3
‘Арабелла’	9,0	9,0	5,0	455,1	282,7	349,9	362,6
‘Гранова’	5,0	9,0	7,0	442,1	193,3	231,4	288,9
‘Мандарина’	9,0	9,0	7,0	584,8	247,4	287,8	373,3
Золушка (линия)	1,0	1,0	3,0	284,2	130,5	161,8	192,2
‘Канюк’	7,0	5,0	7,0	467,7	253,6	243,8	321,7
Линия № 23	7,0	7,0	9,0	435,9	236,3	237,4	303,2
Линия № 35	3,0	3,0	9,0	394,6	182,4	229,0	268,7
Линия № 59	5,0	7,0	7,0	395,6	173,3	280,1	283,0
Линия № 65	9,0	5,0	9,0	388,4	181,2	146,0	238,5
Линия № 66	3,0	1,0	9,0	443,8	207,3	182,2	277,8
Линия № 67	5,0	3,0	5,0	427,7	169,5	155,2	250,8
Линия № 70	9,0	9,0	7,0	423,0	272,1	308,7	356,3
Линия № 79	3,0	3,0	9,0	426,4	171,8	261,3	286,5
Линия № 147	5,0	3,0	5,0	438,9	214,3	257,2	303,5
Линия № 150	7,0	3,0	3,0	357,7	172,3	251,3	260,4
Линия № 151	5,0	5,0	5,0	389,8	148,3	261,6	266,6
Линия № 152	3,0	1,0	5,0	400,8	171,5	185,4	252,6
Линия № 153	5,0	3,0	5,0	370,6	197,2	272,0	279,9
Линия № 178	7,0	3,0	7,0	442,3	206,0	310,2	319,5
Линия № 187	7,0	3,0	9,0	402,7	212,4	183,5	266,2

Таблица 2. Окончание  
Table 2. The end

Образец	Устойчивость, балл			Урожайность, г/м <sup>2</sup>			
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	средняя
Линия № 215	7,0	7,0	7,0	409,0	236,2	210,7	285,3
Линия № 217	3,0	3,0	7,0	430,5	214,0	223,6	289,4
Линия № 220	9,0	5,0	5,0	352,3	262,8	156,1	257,1
Линия № 221	7,0	3,0	7,0	361,6	227,8	176,8	255,4
Линия № 223	5,0	5,0	3,0	445,6	310,7	261,3	339,2
НС <sub>Р0</sub> 5	–	–	–	107,9	41,9	63,4	79,6

349 г/м<sup>2</sup> и была относительно стабильной, но ниже уровня 2022 г. Корреляционный анализ данных 2022–2024 гг. выявил умеренную положительную связь ( $r = 0,49^{**}$ ) между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе (рис. 2). Значимость корреляции значительно изменялась по годам, что зависело от состояния растений и погодных условий. На урожайность влияло поражение

не только мучнистой росой, но и другими грибными болезнями, такими как септориоз, бурая ржавчина и стеблевая ржавчина (причем стеблевая ржавчина была отмечена только в 2024 г. и не наблюдалась в предыдущие годы). Кроме того, на продуктивность оказывали влияние температурный режим, уровень увлажненности почвы и другие стрессовые условия в течение вегетационно-

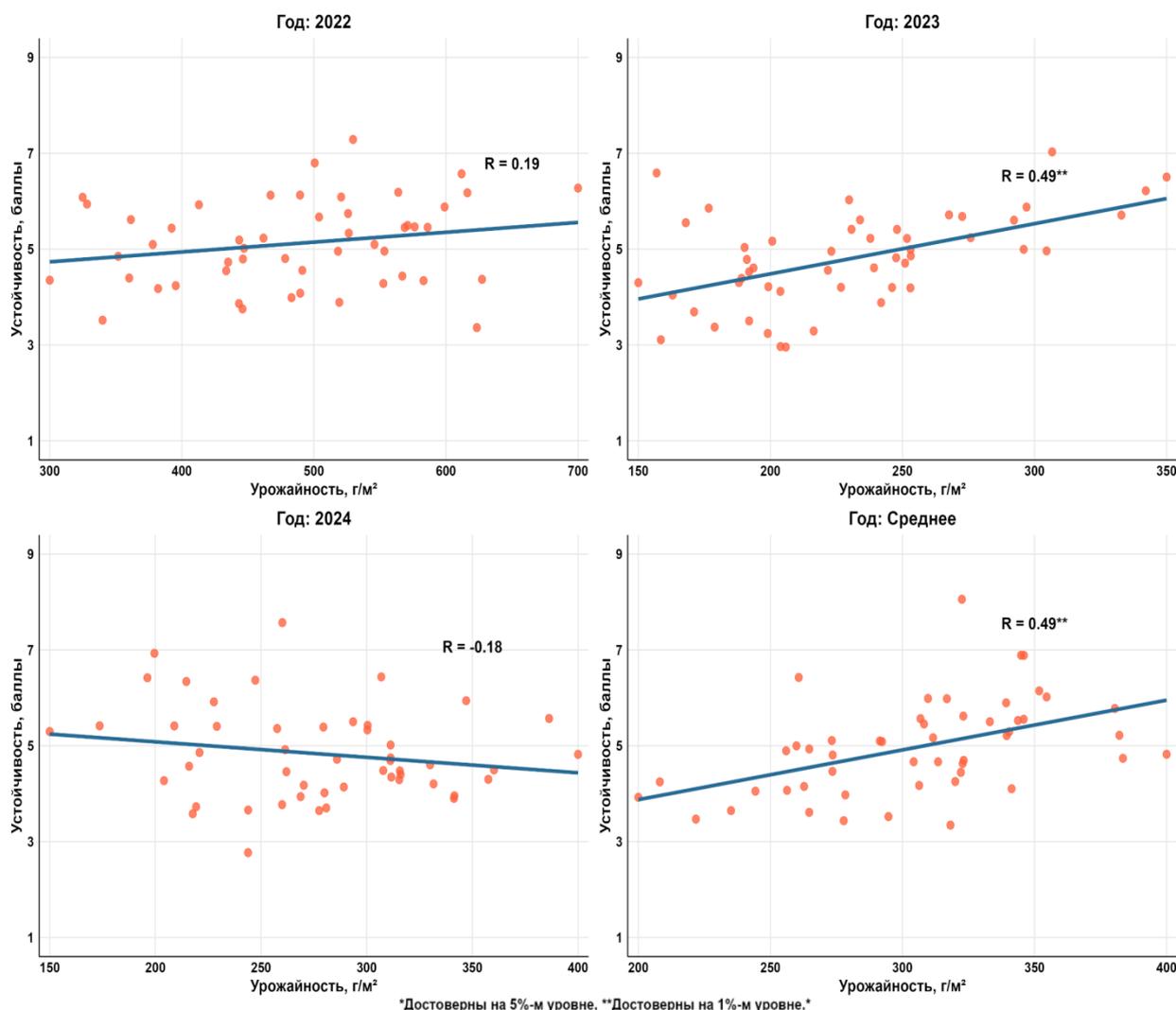


Рис. 2. Корреляция между урожайностью и устойчивостью к мучнистой росе (2022–2024 гг.) и их средними значениями (Полевая опытная станция РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва)

Fig. 2. Correlations between yield and powdery mildew resistance (2022–2024) and their average values (Field Experiment Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow)

го периода. Таким образом, устойчивость к мучнистой росе является важным, но не единственным фактором, влияющим на урожайность. Напротив, в экстремально жарком и засушливом 2024 г. наблюдалась слабая отрицательная корреляция ( $r = -0,18$ ), что указывает на то, что устойчивость к болезни не смогла компенсировать негативное воздействие неблагоприятных факторов среды на продуктивность.

Результаты демонстрируют, что развитие мучнистой росы носит динамичный характер и зависит от климатических условий. Наиболее значимое влияние болезни на урожайность пшеницы проявляется в годы с умеренными температурами и достаточным увлажнением (см. рис. 2).

### Заключение

Метеорологические условия вегетационного периода в центральном районе Нечерноземной зоны России оказывают существенное влияние на степень развития мучнистой росы яровой мягкой пшеницы. Образцы 'Саратовская 74', 'Симбирцит', 'Ласка', 'Мандарина', 'Агата', 'Фаворит', а также линии № 23, № 70 и № 215 во все годы исследований отличались высокой устойчивостью к мучнистой росе, независимо от метеорологических условий. Урожайность резистентных сортов 'Симбирцит' и 'Мандарина' за годы изучения превышала продуктивность районированного сорта 'Злата'. Выделенные образцы можно рекомендовать для использования в селекционных программах по созданию устойчивых к мучнистой росе сортов яровой мягкой пшеницы.

### References / Литература

- Dorofeev V.F., Rudenko M.I., Shitova I.P., Korneichuk V.A. Guidelines for the study of the world wheat collection (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollekcii pshenitsy). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Руденко М.И., Шитова И.П., Корнейчук В.А. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы. Ленинград: ВИР, 1977).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- GRIS. Genetic Resources Information System for Wheat and Triticale: [website]. Available from: <http://www.wheatpedigree.net> [accessed Nov. 01, 2024].
- He H., Liu R., Ma P., Du H., Zhang H., Wu Q. et al. Characterization of *Pm68*, a new powdery mildew resistance gene on chromosome 2BS of Greek durum wheat TRI 1796. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(1):53-62. DOI: 10.1007/s00122-020-03681-2
- Krivchenko V.I., Lebedeva T.V., Peusha Kh.O. Powdery mildew of cereals (Muchnistaya rosa zlakov). In: *Studying Genetic Resources of Cereal Crops for Resistance to Harmful Organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.86-105. [in Russian] (Кривченко В.И., Лебедева Т.В., Пеуша Х.О. Мучнистая роса злаков. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.86-105).
- Lebedeva T.V., Brykova A.N., Zuev E.V. Effective sources of powdery mildew resistance among spring bread wheat for the northwest of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(1):205-214. [in Russian] (Лебедева Т.В., Брыкова А.Н., Зуев Е.В. Эффективные источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к мучнистой росе для северо-запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(1):205-214). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-205-214
- Lebedeva T.V., Zuev E.V. Studies of powdery mildew resistance (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) in varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):17-20. [in Russian] (Лебедева Т.В., Зуев Е.В. Изучение устойчивости к мучнистой росе (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golov.) сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):17-20).
- Li H., Men W., Ma C., Liu Q., Dong Z., Tian X. et al. Wheat powdery mildew resistance gene *Pm13* encodes a mixed lineage kinase domain-like protein. *Nature Communications*. 2024;15(1):2449. DOI: 10.1038/s41467-024-46814-7
- Lin M., Islamov B., Aleliūnas A., Armonienė R., Gorash A., Meigas E. et al. Genome-wide association analysis identifies a consistent QTL for powdery mildew resistance on chromosome 3A in Nordic and Baltic spring wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2024;137(1):25. DOI: 10.1007/s00122-023-04529-1
- Mapuranga J., Chang J., Yang W. Combating powdery mildew: Advances in molecular interactions between *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* and wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1102908. DOI: 10.3389/fpls.2022.1102908
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Xia X.C., Raupp W.J. Catalogue of gene symbols for wheat, 2020 supplement. *Annual Wheat Newsletter*. 2020;66:109-128.
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollekcii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилоса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Najodov B.B. New wheat is not afraid of extreme conditions (Novaya pshenitsa ekstrima ne boitsya) [interview]. *Zemlya i zhizn = Earth and Life*. 2024;(3):14-16. [in Russian] (Наджодов Б.Б. Новая пшеница экстрима не боится [интервью]. *Земля и жизнь*. 2024;(3):14-16). URL: <https://zizh.ru/article/novaya-pshenitsa-ekstrima-ne-boitsya> [дата обращения: 25.12.2024].
- Plant genetic resources passport database of VIR (Pasportnaya baza dannykh geneticheskikh resursov rasteniy VIR): [website]. [in Russian] (Паспортная база данных генетических ресурсов растений ВИР: [сайт]). URL: <http://91.151.189.38:8080/virdb/maindb> [дата обращения: 01.12.2024].
- Sheshegova T.K., Volkova L.V., Shchekleina L.M. Sources of complex resistance of spring soft wheat from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry (VIR). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):49-58. [in Russian] (Шешегова Т.К., Волкова Л.В., Щеклейна Л.М. Источники комплексной

устойчивости яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023;16(2):49-58). DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_2\_49

Wang J., Xu H., Qie Y., Han R., Sun X., Zhao Y. Et al. Evaluation and identification of powdery mildew-resistant genes in 137 wheat relatives. *Frontiers in Genetics*. 2024;15:1342239. DOI: 10.3389/fgene.2024.1342239

### *Информация об авторах*

**Бобурджон Баходурович Наджодов**, аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 42, boburnajodov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1932-9522>

**Валентина Сергеевна Рубец**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 127550 Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 42, ведущий научный сотрудник, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук, 127276 Россия, Москва, ул. Ботаническая, 4, [Valentina.rubets50@gmail.com](mailto:Valentina.rubets50@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1870-7242>

### *Information about the authors*

**Boburjon B. Najodov**, Postgraduate (PhD) Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, Laboratory Research Assistant, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, [boburnajodov@gmail.com](mailto:boburnajodov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1932-9522>

**Valentina S. Rubets**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia, Leading Researcher, Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 4 Botanicheskaya St., Moscow 127276, Russia, [Valentina.rubets50@gmail.com](mailto:Valentina.rubets50@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1870-7242>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.12.2024; одобрена после рецензирования 28.02.2025; принята к публикации 12.05.2025. The article was submitted on 06.12.2024; approved after reviewing on 28.02.2025; accepted for publication on 12.05.2025.