

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.11«321»:631.527.33:632.4
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-94-106



Результаты комплексного изучения образцов яровой пшеницы коллекции ВИР по селекционно ценным признакам

Л. В. Волкова¹, О. С. Амунова¹, А. В. Харина¹, Е. В. Зуев²

¹ Федеральное аграрное научное учреждение Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

² Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Оксана Сергеевна Амунова, yuzhnoe5@mail.ru

Актуальность. Основной стратегией создания коммерческих сортов, обладающих высокой урожайностью и комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам, является привлечение новых источников и доноров адаптивно значимых и хозяйственно ценных признаков. Уникальными генными комплексами могут обладать географически отдаленные и стародавние сорта; их потенциал требует изучения в конкретных почвенно-климатических условиях.

Материалы и методы. Материал исследования – 24 образца яровой мягкой пшеницы, включенные в коллекцию ВИР с 1928 по 2015 г. Для характеристики образцов использована система балльной оценки селекционно ценных признаков. Учитывали продолжительность вегетации и межфазных периодов, урожайность, устойчивость к полеганию, высоту растений, продуктивную кустистость, продуктивность главного колоса, массу 1000 зерен, содержание белка в зерне, содержание хлорофилла в листьях. Сорта, обладающие комплексом признаков, определяли по сумме баллов. Оценивали также устойчивость к распространенным в Кировской области болезням.

Результаты. Выявлена сопряженность урожайности с селекционно ценными признаками, показаны изменения корреляционных связей в зависимости от метеоусловий. Выделены источники ценных признаков. Эффективность генов устойчивости к мучнистой росе *Pm4b*, *Pm5* и септориозу *Stb2*, *Stb6*, *Stb9* против местных популяций патогенов не установлена. Отмечена эффективность гена *Pm1* и нескольких *Lr*-генов. Установлен положительный тренд повышения индекса интенсивности сортов (ИИС), созданных за 90-летний временной промежуток.

Заключение. Для создания в Кировской области новых высокоинтенсивных иммунных сортов выделен исходный материал, характеризующийся комплексом ценных хозяйственно-биологических признаков.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., сорт, источники, продуктивность, устойчивость, болезни

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по проектам FNWE-2022-0007 Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого и FGEM-2022-0009 Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

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

Для цитирования: Волкова Л.В., Амунова О.С., Харина А.В., Зуев Е.В. Результаты комплексного изучения образцов яровой пшеницы коллекции ВИР по селекционно ценным признакам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):94-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-94-106

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-94-106

The results of a comprehensive study of spring wheat accessions from the VIR collection according to their breeding characteristics

Lyudmila V. Volkova¹, Oksana S. Amunova¹, Anastasiya V. Kharina¹, Evgeny V. Zuev²

¹ Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Oksana S. Amunova, yuzhnoe5@mail.ru

Background. The main strategy for the development of commercial cultivars with high yields and complex resistance to unfavorable factors is to attract new sources and donors of traits important for adaptability and agronomic use. Geographically distant cultivars as well as landraces may have unique sets of genes, so their potential requires studying under specific soil and climate conditions.

Materials and methods. Twenty-four spring bread wheat accessions, included in the VIR collection in the period from 1928 to 2015, served as the material for the study. A scoring system for important breeding traits was used to characterize them. The following indicators were measured: the duration of the growing season and interphase periods, yield, lodging resistance, plant height, productive tillering, productivity of the main ear, weight of 1000 grains, protein content in grain, and chlorophyll content in leaves. Cultivars with a set of traits were identifying using the sum of points. Resistance to leaf and ear diseases common for Kirov Province was assessed.

Results. Correlations between yield and traits important for breeding were observed, and the changes in correlation links depending on weather conditions were shown. Sources of valuable traits were identified. The effectiveness of the powdery mildew resistance genes *Pm4b* and *Pm5*, and *Septoria* resistance genes *Stb2*, *Stb6* and *Stb9* was not ascertained against local pathogen populations. The effectiveness of the *Pm1* gene and several *Lr*-genes was observed. A positive trend of increasing the intensity index of cultivars (IIC) developed over a 90-year period was established.

Conclusion. Source material for breeding new high-intensity immune cultivars in Kirov Province was selected for a set of valuable agronomic and biological characteristics.

Keywords: *Triticum aestivum* L., cultivar, scoring, sources, productivity, resistance, diseases

Acknowledgements: the study was conducted within the framework of the state tasks assigned to Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Project FNWE-2022-0007, and the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Project FGEM-2022-0009.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Volkova L.V., Amunova O.S., Kharina A.V., Zuev E.V. The results of a comprehensive study of spring wheat accessions from the VIR collection according to their breeding characteristics. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):94-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-94-106

Введение

Российская Федерация входит в число лидеров по производству и экспорту зерна пшеницы; на сегодняшний день его импортируют более 100 стран мира. Валовой сбор зерна за последние пять лет вырос с 74,5 до 104,4 млн т, а экспорт превысил отметку 40,0 млн т. По данным Росстата, в 2023 г. доля посевных площадей, занятых пшеницей, достигла 36,5% и составила 29,8 млн га (https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx), но несмотря на высокие показатели, потенциал этой отрасли в полной мере еще не используется. Одна из главных причин – нестабильная урожайность, обусловленная природно-климатическими условиями как основных, так и вспомогательных зерносеющих регионов. Для дальнейшего устойчивого развития сельского хозяйства необходимо продолжить технологическую модернизацию отрасли, в том числе путем внедрения новых конкурентоспособных сортов.

Современные сорта характеризуются слабым генетическим разнообразием, наблюдается тенденция к дальнейшему его снижению (Dobrotvorskaia et al., 2004). Генетическое сходство сортов, созданных в рамках региональных селекционных программ, может иметь нежелательные последствия из-за однообразной восприимчивости к патогенам (Orlova, Baechtold, 2019). Стратегия создания сортов, обладающих высокой урожайностью и комплексной устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды, реализуется путем привлечения новых источников и доноров адаптивно значимых и хозяйственно ценных признаков (Davudova, Kazachenko, 2013; Piskarev et al., 2018). Многие полученные в результате длительного естественного или искусственного отбора генотипы из разных стран и континентов хорошо приспособлены к условиям произрастания в России и могут служить важным звеном в рекомбинантной селекции. Вовлечение в селекционный процесс потенциала географически отдаленных, а также местных стародавних сортов, обладающих уникальными генными комплексами (Evdokimov et al., 2022), способствует улучшению сортового разнообразия яровой пшеницы.

Источниками генов хозяйственно ценных признаков считаются рабочие, национальные и международные коллекции. Коллекция генетических ресурсов растений ВИР является крупнейшим в России собранием (генетическим банком) мирового разнообразия растений. Использование ассортимента образцов пшеницы коллекции ВИР позволяет расширить полиморфизм исходного селекционного материала и способствует созданию сортов с требуемыми параметрами.

В связи с особенностями природных условий Кировской области (Perevedentsev et al., 2010) селекционерам необходимо учитывать продолжительность вегетационного периода, поскольку возделывание раннеспелых сортов позволяет экономить на средствах защиты растений и снижать затраты на досушивание зерна. В последние годы все большее распространение получают интенсивные агротехнологии, повышающие спрос на низкорослые сорта с высоким потенциалом урожайности, устойчивые к полеганию и болезням. Ограниченный рост соломины позволяет перераспределить продукты биосинтеза в пользу генеративных органов растения, увеличить продуктивность колоса, повысить коэффициент кущения (Korobeynikov et al., 2020). Однако, по данным собственных исследований (Volkova et al., 2018;

Amunova et al., 2022), в Волго-Вятском регионе, характеризующемся достаточным уровнем увлажнения, наиболее высокую урожайность формируют высокорослые генотипы с хорошо развитой биомассой, при этом слабое варьирование признака «высота стебля» по годам предопределяет стабильность урожайности (Ivanova, Volkova, 2019). Для преодоления отрицательной связи между высотой растений и урожайностью необходимы дополнительные исследования, включающие поиск необходимых источников и доноров. Считается, что рост урожайности сортов новой селекции сопровождается улучшением характеристик фотосинтеза, таких как количество хлорофилла в листьях и удлинение сроков функционирования фотосинтетического аппарата (Priadkina, 2018), следовательно изучение пигментного комплекса с целью выявления доноров высокого содержания зеленого пигмента также весьма актуально. Кроме этого, важными характеристиками исходного материала является устойчивость к болезням. Согласно анализу фитосанитарного состояния посевов яровых культур (Sheshegova, 2015), в Кировской области среди листовых болезней пшеницы преобладают бурая ржавчина, мучнистая роса, септориоз, а в последние годы отмечено проявление пиренофороза (желтая пятнистость листьев); широко распространены корневые гнили, пыльная головня и фузариоз колоса. Таким образом, поиск источников ценных признаков определяется приоритетными направлениями современной селекции – высоким потенциалом урожайности, оптимальной высотой растений, устойчивостью к полеганию, скороспелостью, фотосинтетической активностью, качеством зерна, устойчивостью к распространенным в регионе патогенам.

Цель работы – выявление генотипов с комплексом селекционно ценных признаков в образцах яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения из коллекции ВИР для использования в качестве исходного материала в селекции.

Материалы и методы

Исследования проводили на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров) в 2021–2023 гг. Почва участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, pH = 4,8, содержание P_2O_5 – 191, K_2O – 130 мг/кг (по Кирсанову), содержание гумуса – 2,02% (по Тюрину). Посев проводили в двупольном севообороте «яровая пшеница – чистый пар» в оптимальные сроки в двукратной повторности на делянках площадью 1,0 м² с нормой высева 500 всхожих семян на 1 м². Объектом изучения служили 24 образца мягкой яровой пшеницы, в том числе стандарты – среднеранний сорт 'Баженка' и среднеспелый сорт 'Каменка', поступившие в разные годы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Некоторые образцы, согласно литературным источникам (Krivchenko et al., 1988; Sochalova, Piskarev, 2017), содержали гены устойчивости к возбудителям пыльной и твердой головни *Ustilago tritici* (Pers.) Jens. (*Ut*) и *Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul. (*Bt*), бурой, желтой листовой и стеблевой ржавчины: *Puccinia triticina* Erikss. (*Lr*), *Puccinia striiformis* Westend. (*Yr*) и *Puccinia graminis* Pers. (*Sr*), мучнистой росы *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* Marchal (*Pm*), септориоза *Zymoseptoria tritici* (Roberge ex Desm.) Quaedvl. & Crous (*Stb*) (табл. 1).

Таблица 1. Паспортные данные сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР, взятых в исследование
Table 1. Passport data of the studied spring bread wheat accessions from the VIR collection

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Год включения / Year of inclusion	Генеалогия / Pedigree	Гены устойчивости / Resistance genes	Авторы / Authors
64870	'Баженка'	Россия	2009	('Тулайковская Юбилейная' × 'Приокская') × 'Иргина'	-	-
68171	'Каменка'	Россия, Беларусь		'Kwattro' × 'Banti'	-	-
22132	'Red Bobs'	Канада	1928	отбор из сорта 'Bobs'	<i>Ut1</i> , <i>Sr7b</i> , <i>Sr10</i>	Nielsen, 1977; Luig, 1983; McIntosh, 1983
25019	'Diamant'	Швеция	1929	Kolben/Hallands (landrace)	-	-
25665	'Hope'	США	1929	Yaroslav Emmer/Marquis	<i>Lr14a</i> , <i>Lr22b</i> , <i>Sr1</i> , <i>Sr9d</i> , <i>Sr7b</i> , <i>St17</i> , <i>Sr18</i> , <i>Pm5</i>	McIntosh, 1983; Ausemus et al., 1946; Luig, 1983; McIntosh, 1983; McIntosh, 1973
26950	'Norka'	США	1930	отбор из сорта твердой пшеницы 'Кубанка'	<i>Lr1</i> , <i>Lr20</i> , <i>Sr15</i> , <i>Sr18</i> , <i>Pm1</i>	McIntosh, 1973; Luig, 1983; McIntosh, 1983; McIntosh, 1973
31235	'Heines Kolben'	Германия	1935	отбор из сорта 'Saumur-de-Mars'	<i>Yr6</i> , <i>Stb6</i>	Yellow rust trials project, 1973; Chartrain et al., 2005
33219	'Thatcher'	США	1936	Marquis/lumilo//Marquis/Kanred	<i>Lr22b</i> , <i>Sr5</i> , <i>Sr9g</i> , <i>Sr12</i> , <i>Sr16</i>	Dyck, 1979 Luig, 1983; McIntosh, 1983
33252	'Apex'	Канада	196	H-44-24/3(Double Cross) Marquis/lumilo//Kanred/Marquis4/2*Marquis	<i>Sr9g</i> , <i>Sr5</i> , <i>Sr12</i>	Luig, 1983; McIntosh, 1983
34057	'Baart'	США	1936	-	<i>Bt7</i>	Schaller, 1960
43132	'Centenario'	Бразилия	1960	отбор из местного бразильского сорта	-	-
44983	'Bowie'	США	1965	Renacimiento/Kenya C10862	<i>Lr1</i> , <i>Lr14b</i> , <i>Sr6</i>	Dyck, Samborski, 1970; Luig, 1983; McIntosh, 1983
45795	'Nainari S-60'	Мексика	1967	Supremo/Mentana//Gabo 55/3/Thatcher/Queretano//Kentana/5/Gabo 55, P-4160-6H-3Y-2C	<i>Sr9b</i> , <i>Sr11</i>	Luig, 1983; McIntosh, 1983
46608	'Janus'	Германия	1969	Von Rumkers Fruhreifer Dickkopf/Rumkers Erli//Rumkers Erli/Hope/3/Von Rumkers Fruhreifer Dickkopf	<i>Sr10</i>	Luig, 1983; McIntosh, 1983
47064	'Nova Prata'	Бразилия	1969	Veranopolis/Trapeano	<i>Stb2</i>	Liu et al., 2012
48759	'Sicco'	Нидерланды	1973	Ring//Opal/Selkirk	<i>Pm5</i>	Bennett, 1984
48992	'Solo'	Германия	1973	Halle MH-6706-47/Hohenheimer 25F	<i>Pm4b</i>	McIntosh, 1973

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

Номер по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Год включения / Year of inclusion	Генеалогия / Pedigree	Гены устойчивости / Resistance genes	Авторы / Authors
54214	'T 9111'	Норвегия	1975	-	-	-
60584	'Sinton'	Канада	1976	Manitou/CT 262 (CT 262= Thatcher*6/Kenya Farmer//6*Lee/ Kenya Farmer)	<i>Lr13</i>	McIntosh, 1983
59449	'Tonic'	Великобритания	1987	RPB 87/73*RPB 94/73	<i>Stb9</i>	Chartrain et al., 2009
64981	'Triso'	Германия	2006	Kadett/Weihestephan Stamm	<i>Pm5, Pm1, Pm4a</i>	-
66407	'Сударыня'	Беларусь	2015	('Kontessa' × 'Banti') × 'Quattro'	-	-
66411	'Йолдыз'	Россия	2015	Люба/Славянка Сибири	-	-
66421	'Ласка'	Беларусь	2015	-	-	-

Многие изучаемые образцы являются источниками уникального комплекса генов, поскольку образованы от традиционных и стародавних сортов из разных стран мира. Так, 'Red Bobs' был получен отбором из австралийского сорта 'Bobs', а 'Centenario' – из местного бразильского сорта, 'Norka' – из популяции твердой пшеницы 'Кубанка' с Северного Кавказа. Образцы 'Hope', 'Thatcher' и 'Arax' имеют общего родителя – канадский сорт 'Marquis', весьма популярный в свое время из-за высокой урожайности и отличного качества хлеба. Сорт 'Marquis', в свою очередь, был получен путем скрещивания калкуттской твердой пшеницы с высококачественным сортом 'Red Fife' – первым из названных в Канаде сортов, являющимся в 1860–1900 гг. промышленным стандартом. Образцы 'Thatcher' и 'Arax', содержащие гены устойчивости к стеблевой ржавчине, имели общий источник 'Kanred' (США), отобранный из популяции пшеницы 'Turkey' с учетом устойчивости к болезням и как наиболее приспособленный к местным условиям сорт. Сорт 'Thatcher' знаменит своей высокой адаптивностью и хорошим качеством зерна: в 1953 г. в Канаде его посевы составляли примерно 70% занятых под пшеницу площадей. Сорт 'Diamant' создан с участием сорта 'Kolben' (Швеция), полученного, в свою очередь, путем отбора из популяции с широким генетическим разнообразием. Сорт 'Heines Kolben', выделенный из французского сорта 'Saumur de Mars', долгое время служил источником устойчивости и качества зерна для сортов немецкой селекции (Orlova, Baechtold, 2019).

Анализ структурных элементов продуктивности и учет урожая проводили согласно методическим указаниям ВИР (Gradchaninova et al., 1985). Содержание белка определяли с помощью анализатора зерна «Инфраскан-4200» (ЭКАН, Россия). Для выявления сортов с ценными селекционными признаками использовали 9-балльную систему выраженности количественных признаков (Zuev et al., 1999). Высокие значения призна-

ков «продолжительность периода "всходы – колошение"», «продуктивная кустистость», «число зерен с колоса», «масса зерна с колоса», «масса 1000 зерен», «устойчивость к полеганию», «урожайность» и «содержание белка в зерне» соответствовали 9 баллам, низкие – 1 баллу. Для признаков «продолжительность периода "всходы – восковая спелость"» и «высота стебля», наоборот, больший балл соответствовал минимальным значениям. Ранжирование источников селекционно ценных признаков устанавливали по среднему за трехлетний период баллу. Сорта, обладающие комплексом (двумя и более) ценных признаков, определялись суммой средних баллов этих признаков. Индекс интенсивности сорта (ИИС) определяли по формуле: $In \times Y / L$, где In – устойчивость к полеганию, балл; Y – урожайность, г/м²; L – высота стебля, см.

Для оценки состояния пигментного комплекса в фазу колошения отбирали пробы листьев (20 полностью сформированных флаговых листьев). В лабораторных условиях в 3-кратной аналитической повторности на спектрофотометре UVmini-1240 производства SHIMADZU Corporation (Japan) при длинах волн 470,0, 644,8 и 661,6 нм определяли содержание фотосинтетических пигментов, извлекаемых 100-процентным ацетоном согласно методике Н. К. Lichtenthaler, С. Bushmann (2001), после чего рассчитывали содержание хлорофиллов, их сумму (*Chl a + Chl b*) на единицу сухой массы листа.

Устойчивость сортов пшеницы к листовым болезням изучали на естественном фоне. Степень поражения бурой ржавчиной и мучнистой росой оценивали в год эпифитотийного развития болезней (2023) (Geshele, 1978). Учет степени поражения септориозом листьев проводили по модифицированной шкале Сари-Прескотта (Pyzhikov et al., 1989). Устойчивость к пыльной головне оценивали на искусственном фоне путем подсчета пораженных растений, развившихся из семян после заражения цветков суспензией популяций спор (1 г на 1 л воды), взятых с районированных сортов, при помощи шприца

в жаркую сухую погоду (Krivchenko, 1978). Данные лабораторных и полевых исследований подвергали статистической обработке с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007. Достоверность коэффициентов фенотипической (r – за отдельные годы) и генотипической (r_g – по средним трехлетним значениям) корреляций оценивали при уровнях значимости $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$.

Результаты

Вегетация растений пшеницы в 2021 г. проходила в условиях повышенных среднесуточных температур и дефицита влаги, особенно в начальный период развития. Наблюдали снижение полевой всхожести, зерновой и биологической продуктивности. Условия 2022 г. в целом были благоприятными для формирования высокого урожая и качественного зерна, но сухая и жаркая погода в период налива негативно повлияла на крупность зерновки. Метеоусловия вегетационного периода 2023 г. характеризовались дефицитом влаги в межфазный период «всходы – колошение», что отрицательно повлияло на продуктивность колоса. Избыток осадков в период налива и созревания привел к полеганию растений неустойчивых сортов и развитию грибных болезней. Средняя за три года продолжительность вегетационного периода составила 79–84 суток (у стандартов ‘Баженка’ и ‘Каменка’ – 80 и 82 суток соответственно). К среднеранней группе (вегетационный период до 80 суток) отнесены шесть сортов: ‘Diamant’, ‘Norka’, ‘Solo’, ‘Sinton’, ‘Сударыня’ и ‘Ласка’ (7,0–8,3 балла), остальные шестнадцать сортов сформировали среднеспелую группу (табл. 2).

Средняя урожайность зерна варьировала от 136,4 г/м² (1,0 балл) у сорта ‘Nova Prata’ до 394,6 г/м² (9,0 баллов) у сорта ‘Йолдыз’. Средняя урожайность стандарта ‘Баженка’ составила 223,7 г/м² (3,7 балла), стандарта ‘Каменка’ – 252,7 г/м² (4,3 балла). Достаточно высокой урожайностью (5,7 балла) характеризовались среднеранний сорт ‘Ласка’ (286,7 г/м²), среднеспелые сорта ‘Janus’ и ‘Sicco’ – 277,5 и 296,6 г/м², а также ‘Tonic’ и ‘Hope’ – 248,4 и 270,9 г/м² (5,0 баллов). Высокая урожайность коллекционных образцов определялась в основном продуктивностью главного колоса (числом зерен и массой зерна с колоса), соответственно $r_g = 0,68$ и $0,69$ (значимо при $p \leq 0,01$). Выявлены сорта, сочетающие наиболее высокие показатели данных признаков: среднеранние ‘Сударыня’ и ‘Ласка’ с суммой 19,1 и 21,7 балла соответственно (у стандарта ‘Баженка’ – 13,7 балла) и среднеспелый сорт ‘Йолдыз’ с суммой баллов, равной 24,4 (у стандарта ‘Каменка’ – 16,3 балла).

Считается, что увеличение периода формирования вегетативных органов способствует повышению урожайности. В наших исследованиях выявлено, что связь между урожайностью и продолжительностью периода «всходы – колошение» была слабой положительной ($r = 0,29$ – $0,35$) в годы с дефицитом осадков в этот межфазный период (2021 и 2023), а в год с избыточным увлажнением (2022) такая связь отсутствовала ($r = -0,02$). Возможно, это превышение урожайности достигается за счет более позднего начала колошения, требующего для запуска фазы большей суммы активных температур, что позволяет позднеспелым сортам избегать ранней засухи. Продолжительность межфазного периода «всходы – колошение» в зависимости от сорта варьировала от 40 до 46 суток, или 2,3–9,0 баллов, с минимальным значением у сорта ‘Nainari S-60’ и максимальным у сорта ‘Heines Kolben’. Высокие значения признака отмечены у сортов ‘Tonic’,

‘Triso’ и ‘Йолдыз’ (44–46 суток, или 7,0–9,0 баллов). Особую ценность для Кировской области представляют ранние сорта с продолжительным периодом «всходы – колошение», возделывание которых позволяет сокращать сроки уборки зерна и расходы на его досушивание. Сочетание данных признаков обнаружено у сорта ‘Ласка’: сумма баллов по продолжительности периодов «всходы – колошение», «всходы – восковая спелость» и урожайности составила 19,7 (у группового стандарта – 16,4 балла).

Максимальный коэффициент продуктивной кустистости отмечен у среднеспелого сорта ‘Bowie’ – 1,73 стебл. (7,7 балла), при этом у стандарта ‘Каменка’ величина признака составила 1,30 стебл. (2,3 балла). В среднеспелой группе высокой продуктивной кустистостью характеризовались сорта ‘Hope’, ‘Baart’, ‘Sicco’ (1,57–1,60 стебл., или 6,3 балла), высокую урожайность при этом формировали ‘Bowie’, ‘Sicco’ и ‘Hope’ (с суммой баллов 11,3–12,0, у стандарта – 6,6 балла). В среднеранней группе высокий коэффициент продуктивной кустистости отмечен у сорта ‘Solo’ – 1,53 стебл. (6,3 балла), величина признака у группового стандарта – 1,13 стебл. (1,7 балла).

Крупность зерна, косвенно выраженная признаком «масса 1000 зерен», существенной роли в повышении урожайности не играла, коэффициент корреляции между признаками в 2021–2023 гг. варьировал в пределах $r = 0,08$ – $0,24$. Интерес для селекции представляют сорта, сочетающие высокие значения признаков «масса 1000 зерен» и «содержание белка», обеспечивающие одновременно пищевую, кормовую ценность зерна и выход продукции после подработки. Источниками крупнозерности могут служить образцы ‘Baart’, ‘Nainari S-60’ и ‘Йолдыз’ с массой 1000 зерен 42,7–44,2 г (7,7 балла). К высокобелковым отнесены сорта ‘Norka’, ‘Baart’, ‘Centenario’, ‘Bowie’, ‘Nainari S-60’, ‘Nova Prata’, ‘Solo’ и ‘Sinton’ с содержанием белка 15,0–16,9% (7,0–9,0 баллов). Выделены образцы, сочетающие два ценных признака: среднеранний сорт ‘Solo’ с суммой баллов 14,0 (у стандарта ‘Баженка’ – 6,7 балла), среднеспелые ‘Nainari S-60’, ‘Baart’ и ‘Centenario’ с суммой баллов 14,0–16,7 (у стандарта ‘Каменка’ – 8,6 балла).

Достоверная отрицательная корреляция между содержанием белка и урожайностью ($r_g = -0,71$ при $p \leq 0,01$) создает трудности в поиске источников, сочетающих высокие значения этих признаков. Тем не менее удалось выделить образцы, обладающие совокупностью оптимальных значений: это среднеранние ‘Norka’ и ‘Sinton’ с суммой баллов 10,7 (у стандарта – 7,4 балла) и среднеспелые ‘Bowie’ и ‘Nainari S-60’ с соответствующей суммой 11,3 и 12,7 балла (у стандарта – 6,6 балла).

Корреляция между признаками «урожайность» и «высота стебля» в 2021–2023 гг. в выборке из 24 сортов варьировала в пределах $r = 0,21$ – $0,33$, усиливаясь в год с недостатком влаги в фазу колошения (критический для пшеницы период развития), что согласуется с работами других авторов (Timoshenkova, Samuilov, 2011; Tsybenov, Biltuyev, 2016; Piskarev, 2018). При оценке сортов следует обращать внимание не столько на высоту стебля, сколько на стабильность проявления признака в различных экологических условиях. Наименьшая за годы исследования изменчивость высоты стебля отмечена у стандартов ‘Баженка’ и ‘Каменка’, сортов ‘Diamant’, ‘Heines Kolben’ и ‘Nova Prata’ (CV = 4,2–8,8% при среднем значении в опыте CV = 14,1%). Наиболее стабильными по урожайности, кроме стандартов, были сорта ‘Heines Kolben’, ‘Йолдыз’, ‘Tonic’, ‘Janus’ и ‘Centenario’ (CV = 8,3–23,6% при среднем значении в опыте CV = 29,7%). Корреляция

Таблица 2. Характеристика коллекционных сортов мягкой яровой пшеницы по селекционно ценным признакам, средний балл за 2021–2023 гг.**Table 2.** Characterization of the studied spring bread wheat cultivars according to their traits of breeding value, average score for 2021–2023

Название сорта / Cultivar name	Продолжительность периода / Duration of the period		Урожайность / Yield	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	Высота растений / Plant height	Продуктивная кустистость / Productive tillering	Число зерен с колоса / Number of grains per ear	Масса зерна с колоса / Grain weight per ear	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Содержание белка / Protein content
	всходы – восковая спелость / from sprouting to waxy ripeness	всходы – колошение / from sprouting to ear emergence								
Среднеранняя группа										
‘Баженка’ (стандарт)	7,0	5,7	3,7	8,3	6,3	1,7	5,0	5,0	3,0	3,7
‘Diamant’	8,3	5,0	3,7	7,0	1,0	2,3	6,3	4,3	2,3	5,0
‘Norka’	7,0	4,3	3,7	7,7	3,0	2,3	4,3	3,0	1,7	7,0
‘Solo’	7,0	5,0	2,3	7,7	6,3	6,3	4,3	4,3	7,0	7,0
‘Sinton’	7,0	4,3	3,7	8,3	5,7	1,7	4,3	3,7	2,3	7,0
‘Сударыня’	7,0	4,3	3,7	9,0	7,0	2,3	7,7	7,7	5,0	2,3
‘Ласка’	7,7	6,3	5,7	9,0	7,7	1,0	8,3	7,7	2,3	1,7
Среднеспелая группа										
‘Каменка’ (стандарт)	5,0	6,3	4,3	9,0	6,3	2,3	5,7	6,3	6,3	2,3
‘Red Bobs’	5,7	3,7	1,7	7,7	5,7	2,3	4,3	3,0	1,7	5,0
‘Hope’	5,7	6,3	5,0	7,7	3,7	6,3	5,0	3,7	3,0	5,0
‘Heines Kolben’	1,7	9,0	3,7	7,7	1,0	1,0	4,3	5,7	5,7	3,0
‘Thatcher’	5,7	4,3	3,0	7,7	6,3	3,7	5,7	5,0	3,7	5,7
‘Apex’	6,3	5,7	4,3	7,7	5,7	1,7	5,0	5,0	3,0	5,0
‘Baart’	5,0	5,7	3,0	7,7	5,0	6,3	2,3	3,0	7,7	6,3
‘Centenario’	6,3	3,7	1,7	7,0	3,7	4,3	1,0	1,0	5,7	9,0
‘Bowie’	5,7	5,0	4,3	7,0	2,3	7,7	5,7	3,7	3,0	7,0
‘Nainari S-60’	6,3	2,3	3,7	9,0	7,7	3,7	4,3	5,7	7,7	9,0
‘Janus’	5,0	5,7	5,7	8,3	4,3	2,3	5,7	5,0	1,7	4,3
‘Nova Prata’	4,3	4,3	1,0	8,3	7,7	1,7	1,7	1,0	2,3	9,0
‘Sicco’	6,3	3,7	5,7	7,0	5,0	6,3	5,7	5,0	4,3	3,7
‘T 9111’	6,3	4,3	4,3	8,3	6,3	3,0	6,3	5,7	1,0	4,3
‘Tonic’	2,3	7,7	5,0	9,0	9,0	1,7	4,3	4,3	5,7	3,0
‘Triso’	6,3	7,0	4,3	9,0	8,3	1,0	4,3	4,3	3,0	2,3
‘Йолдыз’	4,3	7,0	9,0	7,7	3,0	1,7	7,7	7,7	7,7	1,0

между стабильностью проявления высоты стеблей и стабильностью урожайности была близка к высокой ($r = 0,58$ при $p \leq 0,01$), следовательно для местных экологических условий необходим поиск сортов, сочетающих эти ценные признаки. Расчет ИИС позволил выявить такие сорта (рис. 1).

На рисунке 1 сорта расположены согласно году включения в каталог ВИР (с 1928 по 2015). Наблюдается устойчивый тренд увеличения ИИС в среднем с 20 до 35 единиц. У современных сортов 'Сударыня', 'Йолдыз', 'Ласка' и 'Каменка' значения ИИС находятся в пределах 33,8–41,3 ед. Из ранее созданных сортов высокие значения ИИС (32,1–40,5 ед.) отмечены у 'Nainari S-60', 'Janus', 'T 9111', 'Tonic' и 'Triso'. Наиболее ценными для селекции можно считать образцы 'Каменка', 'Йолдыз', 'Janus' и 'Tonic', у которых высокие значения ИИС сочетаются с высокой стабильностью урожайности. Указанные источники рекомендуются для создания высокоадаптивных сортов, позволяющих применять высокие дозы минеральных удобрений.

Проведенная диагностика позволила выделить сорта пшеницы, характеризующиеся высоким содержанием хлорофилла (*Chl a + Chl b*) во флаговых листьях: это сред-

незрелые сорта 'Centenario' и 'Heines Kolben' и среднеранний сорт 'Ласка' (17,25–17,83 мг/г сухого вещества при среднем значении в опыте 15,86 мг/г; у стандартов 'Каменка' и 'Баженка' – 13,49 и 13,71 мг/г соответственно) (рис. 2).

Корреляционная связь суммарного хлорофилла и урожайности не была стабильна по годам, варьировала в пределах $r = 0,11-0,43^*$, усиливаясь до достоверных значений во влажный с продолжительным репродуктивным периодом год. Время и место создания сортов, как показано линией тренда, не повлияло на величину признака «*Chl a + Chl b*». Отсутствие положительной динамики количества хлорофилла в листьях за 90-летний период селекционной работы позволяет предположить, что данный резерв повышения потенциальной продуктивности не до конца использован и целенаправленный отбор в этом направлении может быть весьма перспективным.

Изучение коллекционных образцов включало также оценку их устойчивости к распространенным в Кировской области болезням (табл. 3).

У всех образцов пшеницы в разной степени отмечена гибель растений в результате поражения корневыми

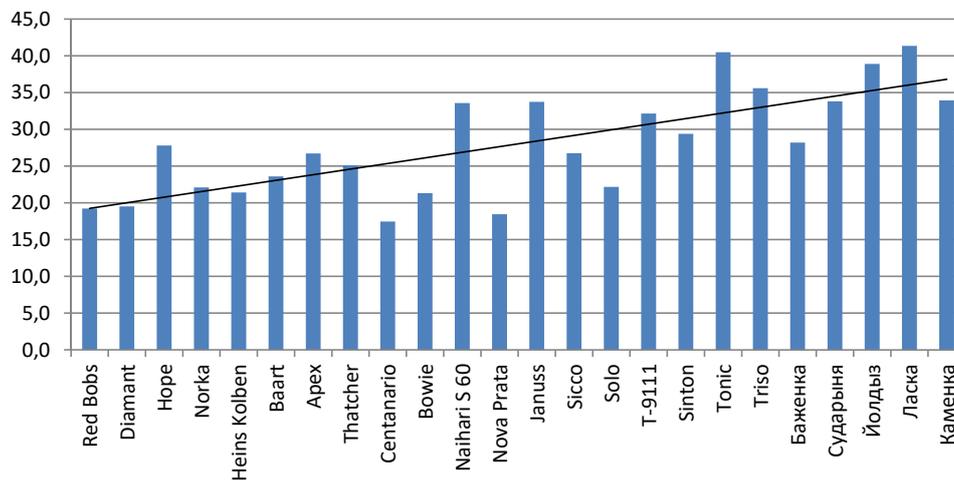


Рис. 1. Индекс интенсивности (ИИС) у коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы, среднее за 2021–2023 гг.

Fig. 1. The intensity indexes (IIC) of the studied spring bread wheat cultivars, average for 2021–2023

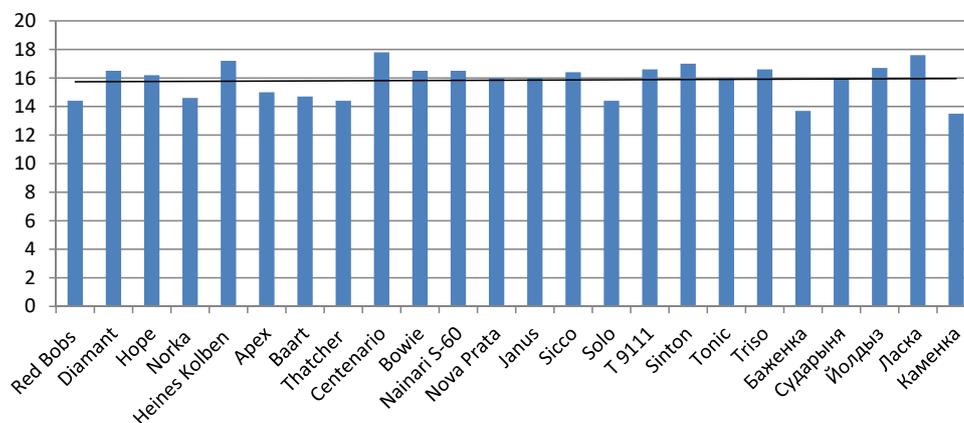


Рис. 2. Сумма *Chl a* и *Chl b* в фазу колошения (мг/г сухого вещества) во флаговых листьях коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы, среднее за 2022–2023 гг.

Fig. 2. The sums of *Chl a* and *Chl b* in the ear emergence phase (mg/g dry weight) in the flag leaves of the studied spring bread wheat cultivars, average for 2021–2023

Таблица 3. Иммунологическая характеристика коллекционных сортов яровой мягкой пшеницы (максимальные значения за 2021–2023 гг.)

Table 3. Immunological characterization of the studied spring bread wheat cultivars (maximum values for 2021–2023)

Название сорта / Cultivar name	Корневые гнили, е. ф., шт./м ² * / Root rots, NIP, pcs./m ² *	Степень поражения болезнями / Disease damage rate, %						Септориоз листьев в фазу / <i>Septoria tritici</i> leaf blotch in the phase of	
		Мучнистая роса, е. ф. / Powdery mildew, NIP	Бурая ржавчина, е. ф. / Leaf rust, NIP	Пиренофороз, е. ф. / Yellow leaf spot, NIP	Пыльная головня, и. ф. / Loose smut, AIP	Фузариоз колоса, е. ф. / <i>Fusarium</i> ear blight, NIP	Септориоз колоса, е. ф. / <i>Septoria tritici</i> ear blotch, NIP	2–3 листьев, и. ф. /	МОЛОЧНОЙ спелости, е. ф. / milky ripeness, NIP
								2–3 leaves, AIP	
‘Баженка’ стандарт	3,5	12,5	5,0	12,5	45,5	5,0	5,0	64,1	35,0
‘Каменка’ стандарт	15,5	0,0	0,0	5,4	73,6	3,5	5,0	73,3	24,8
‘Red Bobs’	3,5	12,8	7,5	8,8	28,6	0,0	2,5	67,2	55,0
‘Diamant’	4,0	12,5	7,5	5,0	86,7	5,0	0,0	34,0	50,0
‘Hope’	4,0	37,5	12,1	17,5	73,7	2,5	5,0	52,2	44,2
‘Norka’	4,0	11,0	1,0	5,0	60,0	5,0	0,0	38,3	51,7
‘Heines Kolben’	6,0	12,5	7,5	6,3	53,8	5,0	0,0	54,8	55,0
‘Apex’	6,5	20,0	1,0	8,8	69,2	8,8	7,9	69,8	45,8
‘Baart’	5,5	35,0	1,0	7,5	88,4	2,5	0,0	47,4	43,4
‘Thatcher’	4,5	10,5	0,0	4,0	0,0	10,0	3,5	78,3	45,8
‘Centenario’	8,0	18,3	0,0	5,0	75,0	5,0	5,0	33,8	35,8
‘Bowie’	8,0	15,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	69,2	50,0
‘Nainari S 60’	6,5	22,8	0,0	15,0	85,7	6,0	0,0	20,0	22,0
‘Janus’	7,5	11,3	0,0	7,5	63,6	4,5	0,0	44,4	34,2
‘Nova Prata’	2,5	8,8	0,0	5,0	87,5	0,0	5,0	49,8	26,7
‘Solo’	2,5	32,0	4,4	12,5	0,0	10,5	3,5	53,8	61,7
‘Sicco’	5,0	32,5	1,0	27,5	11,1	7,5	0,0	50,7	56,7
‘T 9111’	5,5	11,0	5,0	6,7	75,0	0,0	0,0	51,8	51,7
‘Sinton’	16,5	17,5	0,0	5,0	0,0	5,0	5,0	39,9	59,2
‘Tonic’	12,5	2,0	3,0	0,0	23,5	0,0	0,0	51,0	36,7
‘Triso’	9,0	5,0	4,5	2,0	92,3	0,0	0,0	46,2	51,7
‘Сударыня’	11,5	5,0	1,0	3,5	66,7	5,0	0,0	40,8	49,2
‘Йолдыз’	3,5	8,8	5,0	0,0	0,0	2,5	10,4	63,5	28,3
‘Ласка’	9,0	17,5	2,0	17,5	55,6	6,0	0,0	48,8	53,3
Сорт-индикатор	16,5	37,5	12,1	27,5	92,3	10,5	10,4	78,3	61,7

Примечание: е. ф. – естественный фон; и. ф. – искусственный фон; * – количество погибших растений

Note: NIP – natural infection pressure; AIP – artificial infection pressure; * – number of dead plants

гнилями. При максимальном проявлении болезни, отмеченном в 2022 г., среднее количество погибших растений в опыте составило 7,3 шт./м². Данный показатель варьировал от 2,5 шт./м² у сортов 'Nova Prata' и 'Solo' до 16,5 шт./м² у сорта 'Sinton'. Сильное проявление болезни отмечено у стандартного сорта 'Каменка' – 15,5 шт./м². У стандарта 'Баженка' болезнь проявилась слабо – 3,5 шт./м².

Степень поражения сортов мучнистой росой варьировала от 0 до 37,5%. Стандарт 'Каменка' проявил иммунитет к этой болезни, гены устойчивости которого пока не определены; у стандарта 'Баженка' величина признака составила 12,5%. К устойчивым отнесены образцы, у которых степень поражения листьев в провокационном 2023 г. не превышала 10,0%: 'Nova Prata', 'Tonic', 'Triso', 'Сударыня' и 'Йолдыз'. Нужно отметить, что гены устойчивости к мучнистой росе *Pm4b* (в генотипе сорта 'Solo') и *Pm5* (в генотипах сортов 'Sicco' и 'Hope'), согласно данным таблицы 1, оказались неэффективны против местной популяции возбудителя. На потерю устойчивости к заболеваниям у сортов, несущих гены *Pm5*, указывают и другие исследователи (Sochalova, Piskarev, 2017). Отмечена эффективность гена *Pm1* в сортах 'Norka' и 'Triso' – максимальное поражение соответствовало 11,0 и 5,0%.

В последнее десятилетие в посевах яровой пшеницы Кировской области наблюдается слабое поражение растений бурой ржавчиной. У изучаемых образцов в провокационном 2023 г. степень поражения не превышала 12,1%, все образцы характеризовались как устойчивые. У сортов, содержащих *Lr*-гены ('Norka', 'Thatcher', 'Bowie', 'Nainari S-60'), признаков болезни не отмечено. Исключение составил сорт 'Hope' с генами *Lr14a*, *Lr22b*.

Максимальная за годы исследований степень поражения пиренофорозом выявлена у сорта 'Sicco' (27,5%). Сорта 'Diamant', 'Norka', 'Thatcher', 'Centenario', 'Nova Prata', 'Sinton', 'Triso', 'Йолдыз' и 'Tonic' характеризовались как высокоустойчивые (0–5% поражения листа).

Средняя доля пораженных пыльной головней колосов за 2022 и 2023 г. соответствовала 31,5 и 44,6%, у сорта-индикатора – 44,4 и 92,3%. Выделено 5 иммунных сортов – 'Йолдыз', 'Bowie', 'Sinton', 'Thatcher' и 'Solo' – и один слабовосприимчивый – 'Sicco'. Сорт 'Red Bobs' с геном устойчивости *Ut1* показал среднюю восприимчивость к местному штамму возбудителя болезни.

Степень поражения фузариозом колоса у образцов из коллекции варьировала от 0 до 10,5%. Признаков поражения не выявлено у 'Red Bobs', 'Bowie', 'T 9111', 'Tonic', 'Triso' и 'Nova Prata'.

Степень поражения листьев септориозом, фиксируемым в фазу молочной спелости на естественном фоне эпифитотийного 2023 г., изменялась от 22,0% у сорта 'Nainari S-60' до 61,7% у сорта 'Solo'. К средневосприимчивым (степень поражения до 26,0%) отнесен стандарт 'Каменка', остальные сорта характеризовались восприимчивостью к болезни. Изучение устойчивости к септориозу в фазу 2–3 листьев на инфекционном фоне показало, что минимальное поражение листьев также обнаружено у растений сорта 'Nainari S-60'. Необходимо отметить, что у сортов 'Heines Kolben', 'Nova Prata' и 'Tonic' *Stb*-гены устойчивости к возбудителю *Zymoseptoria tritici* оказались неэффективны, поскольку в местном патоккомплексе преобладали штаммы *Parastagonospora nodorum* (E. Müll.) Hedjar. (Bakulina et al., 2022). Септориоз колоса проявился только в 2023 г. при высоком распространении септориоза листьев. Он был выявлен у 11 из 24 образцов, процент поражения находился в пределах от 2,5% у сорта 'Red Bobs' до 10,4% у сорта 'Йолдыз'.

В результате иммунологической оценки выявлены сорта, устойчивые к трем и более болезням: 'Nova Prata' (корневые гнили, мучнистая роса, пиренофороз и фузариоз колоса), 'Triso' (мучнистая роса, пиренофороз, фузариоз и септориоз колоса), 'Norka' (мучнистая роса, бурая ржавчина, пиренофороз и септориоз колоса), 'Thatcher' (бурая ржавчина, пиренофороз и пыльная головня), 'Bowie' (бурая ржавчина, пыльная головня, фузариоз и септориоз колоса) и 'Nainari S-60' (бурая ржавчина, септориоз листьев и колоса).

Заключение

Оценка сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР по комплексу селекционно ценных признаков позволила выделить источники, необходимые для селекции культуры в Кировской области. Выделены среднеранние сорта 'Diamant' (к-25019), 'Norka' (к-26950), 'Solo' (к-48992), 'Sinton' (к-60584), 'Ласка' (к-66421), 'Сударыня' (к-66407), а также сорта, сочетающие высокую урожайность зерна с оптимальной продолжительностью межфазных периодов, – 'Йолдыз' (к-66411) и 'Ласка'. К перспективным для селекции на высокую урожайность отнесены 'Ласка', 'Sicco' (к-48759), 'Hope' (к-25665), 'Tonic' (к-59449), 'Йолдыз' и 'Janus' (к-46608), причем у трех последних стабильность признака проявилась в контрастных условиях среды. Высокая продуктивность колоса отмечена у сортов 'Йолдыз', 'Ласка' и 'Сударыня'. Источниками ценных признаков с урожайностью на уровне или выше группового стандарта стали среднеспелые сорта 'Bowie' (к-44983), 'Sicco' и 'Hope' (продуктивная кустистость), 'Baart' (к-34057), 'Nainari S-60' (к-45795) и 'Йолдыз' (масса 1000 зерен), 'Nainari S-60', 'Bowie' и 'Norka' (содержание белка в зерне), 'Heines Kolben' (к-31235) (содержание хлорофилла во флаговых листьях), а также среднеранние сорта 'Sinton' (содержание белка) и 'Ласка' (содержание хлорофилла во флаговых листьях). Для создания новых высокоинтенсивных сортов определены источники, сочетающие высокую урожайность, устойчивость к полеганию и оптимальную высоту стебля: 'Сударыня', 'Йолдыз', 'Ласка', 'Каменка' (к-68171), 'Nainari S-60', 'Janus', 'T 9111', 'Tonic' и 'Triso' (к-64981). Для селекции на иммунитет определены доноры устойчивости к доминирующим в регионе возбудителям, а также источники комплексной устойчивости. В результате корреляционного анализа выявлены положительная сопряженность урожайности со многими ценными признаками и изменение силы связей в зависимости от метеоусловий. Установлен положительный тренд повышения индекса интенсивности сорта в зависимости от хронологии его создания, что говорит об эффективности селекции в этом направлении.

Reference / Литература

- Amunova O.S., Volkova L.V., Mamaeva A.V. Results of the study of spring soft wheat samples from the VIR collection according to adaptively significant and economically valuable characteristics. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022;2(30):8-21. [in Russian] (Амунова О.С., Волкова Л.В., Мамаева А.В. Результаты изучения образцов мягкой яровой пшеницы из коллекции ВИР по адаптивно значимым и хозяйственно ценным признакам. *Таврический вестник аграрной науки*. 2022;2(30):8-21).
- Ausemus E.R., Harrington J.B., Reitz L.P., Worzella W.W. A summary of genetic studies in hexaploid and tetraploid

- wheat. *Journal of the American Society of Agronomy*. 1946;38(12):1082-1099.
- Bakulina A.V., Popuyvanov D.V., Kharina A.V. Study of the properties of local isolates of *Parastagonospora nodorum*. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(3):212-218. [in Russian] (Бакулина А.В., Попыванов Д.В., Харина А.В. Изучение свойств местных изолятов фитопатогенного гриба *Parastagonospora nodorum*. *Теоретическая и прикладная экология*. 2022;(3):212-218). DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-212-218
- Bennett F.G.A. Resistance to powdery mildew in wheat: a review of its use in agriculture and breeding programmes. *Plant Pathology*. 1984;33(3):279-300. DOI: 10.1111/j.1365-3059.1984.tb01324.x
- Chartrain L., Brading P.A., Brown J.K.M. Presence of the *Stb6* gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in cultivars used in wheat-breeding programmes worldwide. *Plant Pathology*. 2005;54(2):134-143. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2005.01164.x
- Chartrain L., Sourdille P., Bernard M., Brown J.K.M. Identification and location of *Stb9*, a gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat cultivars Courtot and Tonic. *Plant Pathology*. 2009;58(3):547-555. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2008.02013.x
- Davydova N.V., Kazachenko A.O. Features of starting material selection for spring soft wheat selective breeding in the Central Nechernozemie (Nonblack Soil Zone). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;5(103):5-9. [in Russian] (Давыдова Н.В., Казаченко А.О. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. *Вестник Алтайского ГАУ*. 2013;5(103):5-9).
- Dobrotvorskaya T.V., Martynov S.P., Pukhalskiy V.A. Trends in genetic diversity change of spring bread wheat cultivars released in Russia in 1929–2003. *Russian Journal of Genetics*. 2004;40(11):1245-1257. DOI: 10.1023/B:RUGE.0000048667.39464.54
- Dyck P.L., Samborski D.J. Adult-plant leaf rust resistance in PI 250413, an introduction of common wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 1979;59(2):329-332. DOI: 10.4141/cjps79-053
- Dyck P.L., Samborski D.J. The genetics of two alleles for leaf rust resistance at the *Lr14* locus in wheat. *Canadian Journal of Genetic and Cytology*. 1970;12(4):689-694. DOI: 10.1139/g70-091
- Evdokimov M.G., Yusov V.S., Kiryakova M.N., Meshkova L.V., Pakhotina I.V., Glushakov D.A. Promising genetic sources for the creation of varieties of durum spring wheat in Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):609-621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75
- Federal State Statistics Service: [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики: [сайт]). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx [дата обращения: 15.01.2024].
- Fuchs E., Stubbs P.W., Vecht H. Report on the yellow rust trials project. Wageningen: Instituut Plantenziektenkundig Onderzoek; 1973.
- Geshele E.E. Fundamentals of phytopathological evaluation in plant breeding (Osnovy fitopatologicheskoy otsenki v seleksii rasteniy). 2nd ed. Moscow; 1978. [in Russian] (Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. 2-е изд. Москва; 1978).
- Gradchaninova O.D., Filatenko A.A., Rudenko M.I. Study of the wheat collection: guidelines (Izucheniye kollektzii pshenitsy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Градчанинова О.Д., Филатенко А.А., Руденко М.И. Изучение коллекции пшеницы: методические указания. Ленинград: ВИР; 1985).
- Ivanova I.Yu., Volkova L.V. Variability of economically valuable traits of spring wheat and their contribution to productivity stabilization. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(6):567-574. [in Russian] (Иванова И.Ю., Волков Л.В. Изменчивость хозяйственно ценных признаков яровой пшеницы и их вклад в стабилизацию урожайности. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):567-574). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.567-574
- Korobeynikov N.I., Valekzhanin V.S., Penner I.N. Breeding of intensive short-stem varieties of common spring wheat in the Altai Krai. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(7):62-67. [in Russian] (Коробейников Н.И., Валежжанин В.С., Пеннер И.Н. Результаты селекции короткостебельных сортов мягкой яровой пшеницы интенсивного типа в Алтайском крае. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(7):62-67). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10710
- Krivchenko V.I. Studying the resistance of cereal crops and the racial composition of the pathogens of smut diseases: guidelines (Izucheniye ustoychivosti zernovykh kultur i rasovogo sostava vzbuditeley golovnevykh bolezney: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1978. [in Russian] (Кривченко В.И. Изучение устойчивости зерновых культур и расового состава возбудителей головневых болезней: методические указания. Ленинград: ВИР; 1978).
- Krivchenko V.I., Odintsova I.G., Makarova N.A. Catalogue of the VIR global collection. Issue 453. Cereal crop cultivars with known genes of resistance to fungal diseases (Sorta zernovykh kultur s izvestnymi genami ustoychivosti k gribnym boleznyam). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Кривченко В.И., Одинцова И.Г., Макарова Н.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 453. Сорта зерновых культур с известными генами устойчивости к грибным болезням. Ленинград: ВИР; 1988).
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns (eds). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York, NY: John Wiley and Sons; 2001. F4.3.1-F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01
- Liu Y., Zhang L., Thompson I.A., Goodwin S.B., Ohm H. Molecular mapping re-locates the *Stb2* gene for resistance to *Septoria tritici* blotch derived from cultivar Veranopolis on wheat chromosome 1BS. *Euphytica*. 2012;190(1): 145-156. DOI: 1007/s10681-012-0796-8
- Luig N.H. A survey of virulence genes in wheat stream rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Berlin: Parey; 1983.
- McIntosh R.A. Catalogue of gene symbols for wheat. In: E.R. Sears, L.M.S. Sears (eds). *Proceedings of the Fourth International Wheat Genetics Symposium, held at the University of Missouri, Columbia, Missouri, USA, August 6–11, 1973*. Columbia, MO: University of Missouri; 1973. p.912-918.
- McIntosh R.A. Catalogue of gene symbols for wheat (1983 edition). In: S. Sakamoto (ed.). *Proceedings of the Sixth International Wheat Genetics Symposium: held at Kyoto, Japan, November 28 – December 3, 1983*. Kyoto: Kyoto University; 1983. p.1197-1255.
- Nielsen J. Inheritance of virulence of loose smut of wheat, *Ustilago tritici*, on the differential cultivars Renfrew, Florence × Aurore, Kota, and Little Club. *Canadian Journal of Botany*. 1977;55(3):260-263. DOI: 10.1139/b77-036

- Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551-558. [in Russian] (Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):551-558). DOI: 10.18699/VJ19.524
- Perevedentsev Yu.P., Frenkel M.O., Shaimardanov M.Z. Present-day changes in climate conditions and resources in Kirov Province (Sovremennyye izmeneniya klimaticheskikh usloviy i resursov Kirovskoy oblasti). Kazan: Kazan State University; 2010. [in Russian] (Переведенцев Ю.П., Френкель М.О., Шаймарданов М.З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Казань: Казанский государственный университет; 2010).
- Piskarev V.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Sources for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Novosibirsk region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):784-794. [in Russian] (Пискарев В.В., Зувев Е.В., Брыкова А.Н. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):784-794). DOI: 10.18699/VJ18.422
- Priadkina N.A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018;14(1):97-108. [in Russian] (Прядкина Г.А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018;14(1):97-108). DOI: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.126524
- Pyzhikov G.V., Sanina A.A., Suprun L.M., Kurakhtanova T.I., Gogaeva T.I., Meparishvili S.U., Antsiferova L.V., Kuznetsov N.S., Ignatov A.N., Kuzmichev A.A. Methods for assessing the resistance of breeding material and wheat varieties to septoriosiis (Metody otsenki ustoychivosti selektsionnogo materiala i sortov pshenitsy k septoriozu). Moscow; 1989. [in Russian] (Пыжиков Г.В., Санина А.А., Супрун Л.М., Курахтанова Т.И., Гогаева Т.И., Мепаршвили С.У., Анциферова Л.В., Кузнецов Н.С., Игнатов А.Н., Кузьмичев А.А. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу. Москва; 1989).
- Schaller C.W., Holton C.S., Kendrick E.L. Inheritance of the second factor for resistance to bunt, *Tilletia caries* and *T. foetida*, in the wheat variety Martin. *Agronomy Journal*. 1960;52(5):280-282. DOI: 10.2134/agronj1960.00021962005200050013x
- Sheshhegova T.K. Analysis of a phytosanitary condition of sowing of spring grain crops in the Kirov region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;5(48):10-14. [in Russian] (Шешегова Т.К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;5(48):10-14). DOI: 10.30766/2072-9081.2015.48.5.10-14
- Sochalova L.P., Piskarev V.V. Resistance of varieties of spring soft wheat to agents of infections under conditions of changing climate of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017;31(2):21-25. [in Russian] (Сочалова Л.П., Пискарев В.В. Устойчивость сортов яровой мягкой пшеницы к возбудителям инфекционных заболеваний в условиях изменяющегося климата Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;31(2):21-25).
- Timoshenkova T.A., Samuilov F.D. Yield dependence of modern varieties of spring wheat and its morphology in the steppe of Orenburg Cis-Ural region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(3):154-158. [in Russian] (Тимошенкова Т.А., Самуилов Ф.Д. Зависимость продуктивности современных сортов яровой пшеницы от их морфологических особенностей в условиях степи Оренбургского Предуралья. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2011;6(3):154-158).
- Tsybenov B., Biltuyev A. Connection yielding capacity of spring wheat with elements of productivity in arid conditions Buryatia. *Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zauralya = Bulletin of Northern Trans-Urals State Agricultural University*. 2016;2(33):87-93. [in Russian] (Цыбенков Б.Б., Билтуев А.С. Связь урожайности яровой пшеницы с элементами продуктивности в аридных условиях Бурятии. *Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2016;2(33):87-93).
- Volkova L., Amunova O., Lisitsyn E. Influence of environment on development of quantitative traits and action of genetics systems in spring soft wheat. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2-2):192-197. [in Russian] (Волкова Л.В., Амунова О.С., Лисицын Е.М. Влияние внешних условий на развитие количественных признаков и работу генетических систем яровой мягкой пшеницы. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018;20(2-2):192-197).
- Zuev E.V., Lyapunova O.A., Brykova A.N., Surganova L.D., Nikiforov M.N., Razumova I.I., Plotnikova L.N., Potokina S.A., Borodina R.A., Ivanova O.A., Kozhushko N.N., Zhukova A.Z., Chmeleva Z.V., Klimentyeva N.F. Catalogue of the VIR global collection. Issue 708. The pattern of variability in early-ripening spring bread wheat accessions under various ecogeographic conditions (Kharakter izmenchivosti skorospelykh obraztsov yarovoy myagkoy pshenitsy v razlichnykh ekologo-geograficheskikh usloviyakh). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Зувев Е.В., Ляпунова О.А., Брыкова А.Н., Сурганова Л.Д., Никифоров М.Н., Разумова И.И., Плотникова Л.Н., Потоккина С.А., Бородина Р.А., Иванова О.А., Кожушко Н.Н., Жукова А.З., Чмелева З.В., Климентьева Н.Ф. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 708. Характер изменчивости скороспелых образцов яровой мягкой пшеницы в различных эколого-географических условиях. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Информация об авторах

Людмила Владиславовна Волкова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, volkovkirov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0837-8425>

Оксана Сергеевна Амунова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, yuzhnoe5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

Анастасия Владимировна Харина, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, priemnaya@fanc-sv.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. заведующего отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, ezuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Information about the authors

Lyudmila V. Volkova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head of a Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, volkovkirov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0837-8425>

Oksana S. Amunova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, yuzhnoe5@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

Anastasiya V. Kharina, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, priemnaya@fanc-sv.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0554-5814>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St Petersburg 190000, Russia, ezuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

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 06.03.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 03.12.2024.
The article was submitted on 06.03.2024; approved after reviewing on 10.09.2024; accepted for publication on 03.12.2024.