

Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на севере Среднего Поволжья

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-71-82



УДК 633.111.1:574.24

Поступление/Received: 06.07.2020

Принято/Accepted: 23.12.2020

И. Д. ФАДЕЕВА¹, И. Н. ГАЗИЗОВ¹, А. Г. ХАКИМОВА²,
О. П. МИТРОФАНОВА^{2*}

Source material for breeding winter bread wheat in the north of the Middle Volga region

I. D. FADEEVA¹, I. N. GAZIZOV¹, A. G. KHAKIMOVA²,
O. P. MITROFANOVA^{2*}

¹ Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»,
420111 Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31
✉ fad-ir2540@mail.ru

¹ Kazan Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences,
2/31 Lobachevskogo St., Kazan 420111, Russia
✉ fad-ir2540@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* ✉ o.mitrofanova@vir.nw.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* ✉ o.mitrofanova@vir.nw.ru

Актуальность. Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), благодаря значительному прогрессу в селекции, имеет высокий биологический потенциал продуктивности, однако реализация его довольно низкая. Для изменения ситуации в лучшую сторону необходимо повысить устойчивость создаваемых сортов к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам в регионах возделывания культуры. Для решения этой задачи требуется исходный материал. Цель исследований – в условиях севера Среднего Поволжья охарактеризовать набор образцов озимой мягкой пшеницы коллекции ВИР из числа новых поступлений и рабочей коллекции ФИЦ КазНЦ РАН по хозяйственно ценным признакам, выявить источники, перспективные для включения в программу скрещиваний. **Материалы и методы.** Проведено трехлетнее полевое изучение 166 образцов озимой мягкой пшеницы по перезимовке и признакам продуктивности растений и колоса согласно методикам ВИР и ГСИ. Лучшие образцы, или источники, отбирали путем сравнения с сортом-стандартом ‘Казанская 560’, а также с учетом количественных значений параметров «общей адаптивной способности» (ОАС), дисперсии «специфической адаптивной способности» (σ^2_{CAC}) и «относительной стабильности» (S_{B}) каждого образца, которые рассчитывали по А. В. Кильчевскому и Л. В. Хотылевой. **Результаты и заключение.** Дана характеристика образцам озимой мягкой пшеницы по хозяйственно ценным признакам. Выявлены группы и подгруппы образцов с разным уровнем изменчивости признаков. Некоторые образцы со стабильным уровнем проявления признаков превосходили сорт-стандарт по продуктивности колоса. Все они представляют интерес для вовлечения в селекцию пшеницы. Показано, что группы образцов, «слабо изменяющиеся» за годы изучения и «умеренно/сильно изменяющиеся», различаются по величинам корреляции между признаками и количеству значимых корреляций.

Ключевые слова: образец, полевая оценка, хозяйственно ценные признаки, относительная стабильность образца, корреляции.

Background. Bread wheat (*Triticum aestivum* L.), due to significant progress in breeding, has high potential of biological productivity, but its implementation is quite low. To change the situation for the better, it is necessary to increase the resistance of developed cultivars to unfavorable abiotic and biotic factors in the regions of its cultivation. To solve this problem, source material is required. The purpose of this research was to evaluate a set of winter wheat accessions from the VIR collection, and first of all, the newly introduced accessions, and the accessions from the working collection of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences for variability of agronomic traits and stability under the conditions of the north of the Middle Volga region, and to identify sources promising for inclusion in the crossing programs. **Materials and methods.** A three-year field study of 166 winter bread wheat accessions was carried out. All accessions were assessed for their overwintering and plant and ear productivity traits using the methods developed by VIR and the State Variety Trials. The best accessions, or sources, were selected by comparing them with the reference cv. ‘Kazan 560’, taking into account the quantitative values of such indicators as “general adaptability” (OAC), variance of “specific adaptability” (σ^2_{CAC}) and “relative stability” (S_{B}) for each accession according to A. V. Kilchevsky and L. V. Khotyleva. **Results and conclusion.** Descriptions of winter bread wheat accessions are presented in the context of their agronomic traits. Groups and subgroups of accessions with different trait variability levels were identified. Some accessions with stable levels of trait manifestation exceeded the reference in ear productivity. All of them are promising for wheat breeding programs. It is shown that the group of accessions “weakly changing” over the years of study differs from the group of “moderately/strongly changing” accessions in values of correlations between traits and the number of significant correlations.

Key words: accession, field assessment, agronomic traits, relative stability of an accession, correlations.

Введение

Мягкую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) возделывают на шести континентах мира и на основании ее географического распространения причисляют к ограниченному числу видов-космополитов. Одна из приоритетных задач современной селекции – повысить устойчивость пшеницы к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды, встречающимся в различных регионах возделывания этой культуры, и тем самым поднять реализацию продуктивных возможностей сортов (Pryanishnikov, 2018; Syukov, Menibaev, 2015; Tshikunde et al., 2019; Zhuchenko, 2010). Известно, что создание новых сортов в значительной мере зависит от успешного подбора исходного материала. Цель, задачи и методы, используемые при подборе материала, сменяются по мере усложнения задач селекции, расширения требований, предъявляемых к создаваемым сортам и/или увеличения знаний о биологической природе признаков (Merezhko, 1994). Коллекция пшеницы ВИР, в которой собрано мировое генетическое разнообразие этой культуры, служит базой для поиска исходного материала (Fadeeva, Valiullina, 2009; Maltseva et al., 2019; Maslova et al., 2018; Sokolenko, Komarov, 2016). Цель наших исследований – охарактеризовать набор образцов коллекции озимой мягкой пшеницы ВИР из числа новых поступлений и образцов рабочей коллекции пшеницы ФИЦ КазНЦ РАН по хозяйственно важным признакам, определить реакцию образцов на условия севера Среднего Поволжья и выявить источники хозяйственно ценных признаков, наиболее пригодные для использования в селекции в этом регионе.

Материалы и методы

Изучение коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы проводили на опытном поле Татарского НИИСХ в 2016/2017, 2017/2018 и 2018/2019 годах; предшественник – чистый пар. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7, а уборку урожая – селекционным комбайном Sampo Rosenlew SR 2010. В коллекционном питомнике каждый образец высевали на делянках площадью 2 м². Исходный набор включал 171 образец из коллекции пшеницы ВИР и рабочей коллекции ФИЦ КазНЦ РАН. В составе были 63 образца из разных регионов России, 3 – Белоруссии, 3 – Болгарии, 6 – Казахстана, 6 – Словакии, 3 – Швеции, по одному образцу из Германии, Франции и Молдавии, 8 – Китая, 12 – США, 64 – Украины. Посев проводили в оптимальные сроки (28–31 августа). В первый год зимовки погибло пять образцов (к-65909 'Nebokraj', Украина; к-65940 'Hermes', Германия; к-65935 'Verita', к-65938 'Solara' и к-65932 'Vanda 9' – из Словакии); все они были исключены из дальнейшего изучения.

В 2016 г. период осеннего кущения озимой пшеницы характеризовался низкими температурами воздуха и большим количеством осадков, что привело к раннему прекращению вегетации. В декабре произошло значительное кратковременное понижение температуры воздуха. В феврале аномально теплая погода с оттепелями и высоким снежным покровом способствовали сохранению условий для повышенного расхода питательных веществ в тканях растений. Однако в целом зимние условия не оказали значительного негативного влияния на состояние растений. В 2017 г. в период возобновления весенней вегетации и прохождения растениями фазы кущения условия по влагообеспеченности были благоприятными, в то время как в периоды нали-

ва зерна преобладали влажные условия (Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова, сокращенно ГТК, был равен 4,7), а в период созревания зерна – засушливые (ГТК = 0,2...0,4).

Погода в зимний период вегетации 2017/2018 гг. не осложняла перезимовку растений. Однако весенняя вегетация озимой пшеницы началась позже среднемноголетних сроков. Полный сход снега с опытных полей Татарского НИИСХ произошел 20 апреля. Развитие растений сдерживали низкие температуры воздуха и почвы. Как и в предыдущем году, формирование зерновки и налив зерна проходили в засушливых условиях, что ускорило отток пластических веществ в зерновку и созревание пшеницы.

В зимний период 2018/2019 гг. минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых культур не опускалась ниже –1...+7°C. Длительное сохранение снежного покрова на полях было неблагоприятным фактором для растений озимой пшеницы. Резкие суточные перепады температуры воздуха после схода снежного покрова привели к дополнительной гибели ослабленных перезимовкой растений. В период налива и созревания зерна ГТК составил 1,3...1,8, что способствовало формированию хорошо выполненного зерна.

Полевые учеты перезимовки, полевую и лабораторную оценку признаков продуктивности растений и колоса (число продуктивных стеблей на 1 м², масса зерна колоса, число зерен с колоса, масса 1000 зерен и урожайность зерна с 1 м²) проводили с использованием общепринятых методик (Methods..., 1989; Merezhko, 1999). Отбор лучших образцов осуществляли в сравнении с сортом-стандартом 'Казанская 560', а также с учетом отклонений средних значений признаков образца от средних, рассчитанных для всей совокупности образцов за все годы изучения, и отклонений значений признаков образцов в конкретные годы от их средних за два или три года. Такой отбор – аналог комбинированного отбора, где каждая часть отклонений содержит некоторую информацию о селекционной ценности образца (Falconer, 1981). Названные выше отклонения количественных значений признаков образцов рассмотрены с использованием параметров, предложенных А. В. Кильчевским и Л. В. Хотылевой (Kilchevsky, Khotyleva, 1985a, b), то есть как общая адаптивная способность (ОАС) образца, варианса его специфической адаптивной способности ($\sigma^2_{\text{САС}}$) и относительная стабильность образца (S_{gi}), которую вычисляли по формуле

$$S_{\text{gi}} = [(\sigma_{\text{САС}}/u + \text{ОАС}) \times 100]\%,$$

где u – среднее значение признака для всей совокупности изученных образцов за два или три года.

Два последних параметра применяли для характеристики стабильности образцов. В первом случае – при сравнении их по проявлению одного и того же признака, во втором – разных признаков. Все расчеты и статистическую обработку полученных данных методами вариационного, дисперсионного и корреляционного анализа проводили в соответствии с рекомендациями справочного биометрического пособия (Zaitsev, 1984) и с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 7. Следует отметить, что для 16 образцов были получены лишь двухлетние данные, поэтому объем выборок при обработке статистическими методами колебался: в одних случаях составлял 166 образцов, в других – 150, а суммарно с учетом двух- и трехлетнего изучения – 482 и 450 образцов соответственно.

Результаты

Сорта озимой мягкой пшеницы 'Казанская 560', 'Казанская 285', 'Надежда', 'Дарина', 'Универсиада', созданные в Татарском НИИСХ, занимают свыше 150 тысяч га на полях Республики Татарстан. Они обладают высоким уровнем зимостойкости, устойчивости к засухе, толерантны к резким переменам погоды. Статистическая обработка результатов проведенного нами полевого изучения образцов выявила средний уровень вариации у них хозяйственно ценных признаков, за исключением урожайности зерна (табл. 1). Величина коэффициентов вариации (CV) колебалась от 12,5% до 19,4%, а по урожайности зерна – от 21,5% до 22,7%. Двухфакторным дисперсионным анализом показано достоверное влияние на изменчивость признаков как генетических особенностей образцов, так и года изучения (табл. 2). На основании фактических значений критерия Фишера можно предположить, что различия в условиях года больше повлияли на изменчивость признаков, чем генетические особенности образцов. Исключением был признак «число зерен с колоса», на который в равной степени оказывали действие оба фактора.

периоды в годы изучения состояние посевов не ухудшалось. Примерно такой же уровень зимостойкости имели сорта 'Казанская 84' (к-62431) и 'Универсиада' из Татарстана, к-59048 'Ульяновка 3' из Ульяновской области, сорт 'Поволжская 86' Самарской области, образец 'Artemida' (к-64344) из Украины. Напротив, наиболее изреженными (сохранилось менее 50% растений, зимостойкость 1 балл) оказались образцы к-65059 'Vinnychanka', к-65057 'Lytanivka', к-65629 'Nakhodka 4', все из Украины, и образцы 'Hong zhong I', к-65072 'Zhong Pin 1507', к-65038 'Yu Mai 31' и к-65033 'Xiao Yan 107' из Китая. Зимостойкость остальных образцов была 3–4 балла (сохранилось 60–80% растений). Доверительный интервал средней перезимовки по всему опыту составил 4,0–4,2 балла (при $P = 99,9\%$, $df = 165$), при этом 119 образцов превысили эти значения, а 47 оказались ниже их. Наиболее стабильными по годам ($\sigma^2_{\text{год}} = 0,00 \dots 0,01$) были 30 образцов, в том числе сорт-стандарт. Среди них 14 образцов из России (к-65760 'Московская 56', к-65374 'Донской простор', к-65372 'Донской мяк', к-65219 'Новоершовская', 'Волжская 29' и другие), а также образцы из Казахстана ('Лютесценс 410 Н39', 'Лютесценс 499 Н8', 'Лютесценс 471 Н8'), Украины (к-64344 'Artemida', к-65047 'Kolos Myronivshchyny', к-65067 'Manzheliya', к-65903 'Spasivka', к-65916 'Zhajvir' и 'Эритроспер-

Таблица 1. Изменчивость признаков по результатам трехлетней (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019) оценки образцов озимой мягкой пшеницы на опытном поле Татарского НИИСХ

Table 1. Variability of traits based on the results of a three-year evaluation of winter bread wheat accessions in the experimental field of the Tatar Research Institute of Agriculture (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019)

Признак	Средняя, ошибка средней/лимиты			Коэффициент вариации и его ошибка, %		
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2016/2017	2017/2018	2018/2019
	n = 150	n = 166	n = 166	n = 150	n = 166	n = 166
Перезимовка, балл	$4,3 \pm 0,1$ 1,4...5,0	$3,9 \pm 0,1$ 1,0...5,0	$4,1 \pm 0,1$ 1,0...5,0	15,8 ± 0,9	19,2 ± 1,1	18,4 ± 1,0
Число продуктивных стеблей, шт./м ²	$301,8 \pm 3,9$ 100...366	$273,2 \pm 4,1$ 56...350	$288,7 \pm 4,2$ 65...362	16,0 ± 0,9	19,4 ± 1,1	18,6 ± 1,1
Масса зерна колоса, г	$1,5 \pm 0,0$ 0,6...2,3	$1,4 \pm 0,0$ 0,7...2,0	$1,5 \pm 0,0$ 0,9...2,1	19,3 ± 1,2	18,3 ± 1,0	13,9 ± 0,8
Число зерен с колоса, шт.	$41,5 \pm 0,6$ 21...63	$40,9 \pm 0,5$ 23...63	$42,6 \pm 0,5$ 26...65	16,5 ± 1,0	16,0 ± 0,9	14,3 ± 0,8
Масса 1000 зерен, г	$35,5 \pm 0,4$ 20,7...45,2	$34,4 \pm 0,4$ 20,3...46,8	$36,5 \pm 0,4$ 20,9...48,2	13,3 ± 0,8	13,2 ± 0,7	12,5 ± 0,7
Урожайность, г/м ²	$433,2 \pm 8,0$ 140,0...638,9	$387,4 \pm 7,4$ 69,0...585,3	$442,8 \pm 7,4$ 77,4...623,3	22,7 ± 1,4	24,5 ± 1,4	21,5 ± 1,2

Для получения высоких урожаев мягкой пшеницы в регионе Среднего Поволжья необходимо создавать сорта с высоким уровнем зимостойкости. В годы изучения в период зимовки не было аномально низких отрицательных температур воздуха. Основными факторами, влияющими на жизнеспособность растений, были длительное нахождение под снежным покровом и выпревание из-за усиленного дыхания при температурах на уровне узла кущения $-1 \dots +2^\circ\text{C}$. На основании данных осеннего и весеннего учетов состояния посевов средний уровень зимостойкости за три года сорта-стандарта 'Казанская 560' (к-62565) составил 5,0 баллов, то есть за зимние

мум 14289'), США (к-59322 'Scotty', к-65414 'N 02 Y 4648', к-65416 'N 02 Y 4529', 'Moral'), Словакии (к-65931 'Sarlotka') и Китая (к-65076 'Zhong Pin 1630').

Известно, что густота продуктивного стеблестоя озимой мягкой пшеницы зависит от нормы высевы, полевой всхожести семян, биологических особенностей образца, сохранности растений в ходе вегетации. В годы изучения число колосоносных стеблей на единице площади перед уборкой у разных образцов варьировало от 56 до 366, а доверительный интервал средней плотности стеблестоя в трехгодичном опыте изменялся от 273,0 до 300,0 шт./м² ($P = 99,9\%$, $df = 165$). Ма-

Таблица 2. Влияние генотипа (образца) и года изучения на изменчивость признаков озимой мягкой пшеницы в условиях севера Среднего Поволжья

Table 2. Effect of the genotype (accession) and year of study on the variability in winter bread wheat in the north of the Middle Volga

Варьирование данных	Урожайность, г/м ²		Перезимовка, балл		Число продуктивных стеблей, штука		Масса зерна колоса, г		Число зерен с колоса, штука		Масса 1000 зерен, г	
	S ² _{ср.}	F _φ	S ² _{ср.}	F _φ	S ² _{ср.}	F _φ	S ² _{ср.}	F _φ	S ² _{ср.}	F _φ	S ² _{ср.}	F _φ
Общее df = 449	9119,2	-	0,50	-	2488,6	-	0,07	-	41,8	-	22,1	-
По градациям фактора «генотип» df = 149	23643,2	26,8**	0,14	6,1**	6952,5	69,1**	0,18	18**	108,5	13,9**	63,2	90,3**
По градациям фактора «год изучения» df = 2	154415,5	175,1**	5,2	236,4**	25742,1	255,9**	0,7	70**	107,6	13,8**	166,0	237,1**
Остаточное df = 298	882,1	-	0,02	-	100,6	-	0,01	-	7,8	-	0,7	-

Обозначения: S²_{ср.} – средняя сумма квадратов; F_φ – фактическое значение критерия Фишера; df – число степеней свободы.
 ** – влияние фактора достоверно при P = 99% (F_{табл.} = 1,15_{p=0,05} и F_φ = 1,22_{p=0,01} при df = 149 для большей и df = 298 для меньшей дисперсий, соответственно);
 F_{табл.} = 3,03_{p=0,05} и F_φ = 4,68_{p=0,01} при df = 2 для большей и df = 298 для меньшей дисперсий, соответственно)
 Designations: S²_{ср.} is the mean sum of squares; F_φ is the actual value of the Fisher criterion; df is the number of degrees of freedom.
 ** – factor influence is significant at P = 99% (F_{табл.} = 1,15_{p=0,05} and F_φ = 1,22_{p=0,01} with df = 149 for larger and df = 298 for smaller variances, respectively);
 F_{табл.} = 3,03 P = 0,05 and F_φ = 4,68 P = 0,01 with df = 2 for larger and df = 298 for smaller variances, respectively)

лое число продуктивных стеблей (до 153 шт./м²) наблюдали у низкозимостойких образцов, а наиболее высокое (306–366 шт./м²) – у всех хорошо зимующих образцов, как названных выше, так и у к-55759 'Луна', к-64327 'Garant', к-65366 'Odes'ka 200', к-65049 'Vduachna' – из Украины, 'Лютесценс 471 Н8' – Казахстана, к-64009 'Eroica II' – Швеции и 'Moral' – США. Сорт-стандарт 'Казанская 560', входящий в эту группу, имел в среднем 346,3 стеблей на 1 м², $OAC_i = 59,9$; $\sigma^2_{CACi} = 3,0$, то есть у него стабильно куборке сохранялось больше стеблей, чем в среднем по опыту. По плотности стеблестоя его незначительно превосходили образцы 'Универсиада' ($x_{cp.} = 359,3$; $OAC_i = 72,9$; $\sigma^2_{CACi} = 69,3$), 'Казанская 84' ($x_{cp.} = 350,3$; $OAC_i = 63,9$; $\sigma^2_{CACi} = 134,3$), 'Поволжская 86' ($x_{cp.} = 350,3$; $OAC_i = 63,9$; $\sigma^2_{CACi} = 94,30$) и 'Artemida 86' ($x_{cp.} = 351,3$; $OAC_i = 64,9$; $\sigma^2_{CACi} = 37,3$), но они были менее стабильными. Превышал по стабильности сорт-стандарт лишь образец 'Ульяновка 3' ($x_{cp.} = 345,0$; $OAC_i = 58,6$; $\sigma^2_{CACi} = 1,0$).

Доверительные интервалы средних значений основных параметров продуктивности колоса, а именно массы зерна и числа зерен, а также массы 1000 зерен, составили 1,41...1,54 г, 40,1...43,3 шт. и 34,3...36,6 г соответственно. По результатам трехлетней оценки наиболее высокую среднюю массу зерна колоса (1,77–2,09 г) и одновременно числа зерен с колоса (49,7–55,7 шт.) имели девять образцов, причем у некоторых из них средние значения обоих признаков были выше показателей сорта-стандарта (табл. 3). Наряду с этими образцами по числу зерен с колоса превосходили сорт-стандарт к-65025 'Enola' (Болгария) – 50,7 шт., к-65925 'Ignis' и к-65930 'Stanislava' (Словакия) – 54,3 и 52,3 шт. соответственно; к-65364 'Zustrich' – 50,1 шт., к-65057 'Lytanivka' – 51,1 шт., к-64501 'Luganchanka' – 51,3 шт., к-65902 'Zluka' – 53,3 шт. и к-64335 'Yana' – 63,7 шт. (все из Украины) и другие. Самая высокая озерненность колоса была у к-65059 'Vinnuchanka', к-65902 'Zluka', к-65902 'Luganchanka' и 'Hong zhong 3', при этом все эти образцы были также стабильными ($\sigma^2_{CACi} = 0,28...0,80$) по проявлению этого признака. Что касается массы 1000 зерен, то наиболее высокие значения признака имели 18 образцов (41,0–46,1 г; $OAC_i = 5,5...10,7$ г), они были выше и средней по опыту, и сорта-стандарта. Среди них стабильными ($\sigma^2_{CACi} = 0,25...1,34$) были российские образцы 'Львовская 8' (Курская обл.), к-65370 'Дон 107' и к-65372 'Донской маяк' (Ростовская обл.), к-65608 'Волжская 16' (Ульяновская обл.), а также образцы из Казахстана ('Лютесценс 474 Н18'), Украины (к-65044 'Monolog', к-65059 'Vinnuchanka', к-65633 'Poshana', к-65917 'Zolotoglava') и Швеции (к-63997 'Bore II'). Однако 'Карабалыкская озимая' (Казахстан) и к-58531 'Славянка' (Владимирская обл.) с наиболее высокой средней массой 1000 зерен (46,1 и 45,1 г) были нестабильными ($\sigma^2_{CACi} = 9,6$ и $\sigma^2_{CACi} = 4,3$ соответственно).

Традиционный путь увеличения производства зерна озимой мягкой пшеницы – рост ее урожайности. Сравнение средней урожайности образцов по всему опыту ($420,7 \pm 7,4$ г/м²) со средней урожайностью образцов в конкретный год показало, что наиболее благоприятные условия для проявления признаков продуктивности сложились в 2019 г. ($442,8 \pm 7,4$ г/м²), а более жесткие – в 2018 г. ($387,4 \pm 7,4$ г/м²). Рассчитанные отклонения (OAC_i) средней урожайности образцов за годы изучения от средней урожайности по опыту варьировали от –343,3 до 190,3, причем 74 образца (44,6% всех изученных образцов) имели урожайность ниже средней по опыту,

а 92 образца (55,4%) превышали ее. Наиболее высокую среднюю урожайность показали семь образцов из России, в том числе сорт-стандарт (611,1 г/м²), три из Украины и к-64009 'Eroica II' из Швеции (табл. 4). Превосходила по средней урожайности сорт-стандарт в течение двух лет лишь 'Поволжская 86'. Сравнение вариантов лучших по урожайности образцов свидетельствовало в пользу меньшей изменчивости по годам к-64581 'Донэко' ($\sigma^2_{CACi} = 161,4$; Россия, Ростовская обл.) и к-61966 'Безенчукская 380' ($\sigma^2_{CACi} = 228,3$; Россия, Самарская обл.), наиболее изменчивым был сорт 'Кинельская 8' ($\sigma^2_{CACi} = 2389,0$; Россия, Самарская обл.). Следует также отметить, что плюс-отклонения по урожайности в сочетании с плюс-отклонениями по всем другим изученным признакам от соответствующих их средних по опыту наблюдали у 63 образцов, из них все три года у к-55759 'Луна', к-61966 'Безенчукская 380', к-65219 'Новоершовская', 'Кинельская 8' и 'Поволжская 86' из России и бывшего СССР, к-65067 'Manzheliya' и к-65047 'Kolos Myronivshchyny' из Украины и к-64009 'Eroica II' из Швеции. Сорт-стандарт не вошел в эту группу, поскольку в 2017 и 2018 г. имел массу 1000 зерен ниже средней по опыту.

Способность адаптироваться к неблагоприятным условиям среды без существенного снижения уровня урожайности – одно из важнейших свойств, которым должны обладать новые сорта пшеницы. Поскольку по существу показатель относительной стабильности S_{gi} аналогичен коэффициенту вариации при оценке генотипа в ряде сред (Kilchevsky, Khotyleva, 1985a), представляло интерес классифицировать образцы с учетом значений S_{gi} одновременно всех изученных признаков. Величина S_{gi} по отдельным признакам варьировала от 0 до 50,3%. Принимая во внимание общепринятую качественную характеристику вариабельности любого признака в зависимости от величины коэффициента вариации, мы условно объединили образцы в группы: «слабо изменяющиеся», у которых S_{gi} по каждому изученному признаку была менее 10%, «умеренно и сильно изменяющиеся» – $S_{gi} = 0...20\%$ и $S_{gi} > 20\%$ соответственно. Численность полученных групп составила 110, 46 и 10 образцов. Группу «слабо изменяющиеся» образовали образцы в основном из России (51) и Украины (36), а также Белоруссии (3), Казахстана (4), Болгарии (2), Словакии (1), Швеции (3), Китая (4) и США (6). Поскольку в эту группу входили образцы как с высокими, так и низкими значениями признаков, ее рассматривали как полиморфную. Так, из упомянутых выше 63 образцов, у которых значения всех признаков превысили средние по опыту, 19 были отнесены к «слабо изменяющимся» (13 образцов из России и бывшего СССР, 5 – Украины и один – Швеции). В такую же группу, но с низкими значениями признаков, вошли к-65297 'Barvina' и к-65319 'Utes' из Украины, к-65395 KS92WGRC19 и к-65393 KS96WGRC39 из США. Среди «умеренно и сильно изменяющихся» были 17 образцов, у которых по годам наиболее варьировала урожайность ($S_{gi} = 10,1–15,8\%$), 22 образца с колеблющимися массой зерна колоса ($S_{gi} = 10,0–42,2\%$), числом зерен с колоса ($S_{gi} = 11,1–42,2\%$) и урожайностью зерна ($S_{gi} = 11,5–45,4\%$), а также 15 образцов с разным уровнем перезимовки ($S_{gi} = 10,1–21,2\%$) и числом продуктивных стеблей на квадратном метре ($S_{gi} = 8,5–22,0\%$). Лучшими по комплексу признаков и близкими к «слабо изменяющимся» образцам были к-62733 'Инна' (Россия, Московская обл.), к-65303 'Slik' и к-65903 'Spasivka' (Украина). У образца к-65057 'Lytanivka' (Украина) все признаки, за исключением массы 1000 зерен, сильно варьировали

Таблица 3. Характеристика образцов озимой мягкой пшеницы с наиболее высокими значениями признаков продуктивности колоса по параметрам адаптивности и стабильности

Table 3. Description of winter bread wheat accessions with the highest values of ear productivity traits according to the adaptability and stability parameters

Номер по каталогу ВИР	Образец	Масса зерна колоса, г				Число зерен с колоса, штук				Масса 1000 зерен, г			
		X_{cp}	OAC_i	σ^2_{CACI}	$S_{gr}\%$	X_{cp}	OAC_i	σ^2_{CACI}	$S_{gr}\%$	X_{cp}	OAC_i	σ^2_{CACI}	$S_{gr}\%$
Россия													
63565	Казанская 560 (ст.)	1,77	0,30	0,003	3,3	50,9	9,3	0,7	1,7	34,7	-0,8	1,2	3,2
	Константиновская	2,08	0,61	0,006	3,7	49,7	8,1	2,0	2,8	41,9	6,5	2,7	3,9
61966	Безенчукская 380	1,83	0,36	0,003	3,2	50,5	8,8	4,9	4,4	36,3	0,9	0,6	2,1
Китай													
	Hong zhong 1	2,03	0,56	0,003	2,8	51,8	10,1	2,3	2,9	39,3	3,8	0,4	1,6
	Hong zhong 3	2,07	0,60	0,003	2,8	53,8	12,1	0,8	1,7	38,4	3,0	1,2	3,2
Украина													
65045	Мукотайивка	1,89	0,42	0,013	6,1	49,8	8,1	8,8	6,0	38,0	2,5	0,3	1,3
65059	Vinnychanka	2,07	0,60	0,003	2,8	50,0	8,3	0,3	1,1	41,3	5,9	1,1	2,6
65369	Tsyghanka	2,07	0,60	0,016	6,1	55,7	14,0	12,5	6,3	37,3	1,8	2,2	4,0
65636	Fantaziya odes'ka	2,09	0,62	0,023	7,2	52,8	11,1	12,1	6,6	39,5	4,1	0,8	2,3

Обозначения: X_{cp} – среднее; OAC_i – общая адаптивная способность; σ^2_{CACI} – дисперсия специфической адаптивной способности;

S_{gr} – относительная стабильность образца (генотипа)

Designations: X_{cp} is the average; OAC_i means general adaptability; σ^2_{CACI} means variance of specific adaptability; S_{gr} means relative stability of the accession (genotype)

Таблица 4. Характеристики высокоурожайных образцов по перезимовке, числу стеблей на 1 м² и параметрам общей и специфической адаптивной способности и относительной стабильности

Table 4. Description of high-yielding accessions in terms of their overwintering, number of stems per 1 m² and parameters of general and specific adaptability and relative stability

Номер по каталогу ВИР	Образец	Урожайность зерна, г/м ²			Перезимовка, балл			Число стеблей шт./м ²					
		X _{ср.}	OAC ₁	σ ² _{САС1}	S _{гр}	X _{ср.}	OAC ₁	σ ² _{САС1}	X _{ср.}	OAC ₁	σ ² _{САС1}	S _{гр}	
Россия													
64581	Донэко	535,9	115,1	161,4	2,4	4,1	0,003	0,003	1,4	287,7	1,3	17,6	1,5
	Тарасовская 70	556,4	135,7	894,7	5,4	4,6	0,47	0,023	3,5	319,7	33,3	136,3	3,7
	Кинельская 8	547,8	127,1	2389,0	8,9	4,6	0,50	0,070	6,2	320,0	33,6	388,0	6,2
61966	Безенчукская 380	561,2	140,5	228,3	2,7	4,4	0,30	0,000	0,0	306,2	19,8	2,7	0,5
	Константиновская	565,7	144,9	1551,8	7,0	3,9	-0,23	0,023	3,8	272,0	-14,4	85,2	3,4
	Поволжская 86	608,7	188,0	1542,5	6,5	5,0	0,87	0,003	1,2	350,3	63,9	94,3	2,8
63565	Казанская 560 ст.	611,1	190,3	498,4	3,7	5,0	0,87	0,003	1,2	346,3	59,9	3,0	0,5
Украина													
65067	Manzheliya	530,3	169,5	1140,8	6,4	4,5	0,43	0,003	1,3	319,3	32,9	26,3	1,6
65365	Lagidna	535,3	114,6	840,0	5,4	4,6	0,47	0,093	7,1	319,7	33,3	464,3	6,7
65636	Fantaziya odes'ka	552,6	131,9	538,7	4,2	3,8	-0,33	0,023	4,2	265,4	-21,0	97,2	3,7
Швеция													
64009	Eroica II	555,0	134,3	1364,0	6,7	4,7	0,60	0,070	6,0	328,3	41,9	412,3	6,2

Обозначения: OAC₁ – общая адаптивная способность; σ²_{САС1} – дисперсия специфической адаптивной способности; S_{гр} – относительная стабильность образца (генотипа)
Designations: OAC₁ means general adaptability; σ²_{САС1} means variance of specific adaptability; S_{гр} means relative stability of the accession (genotype)

($S_{gr} = 30,1-50,1\%$). Возможно, это обусловило его низкую урожайность ($69,0...216,0 \text{ г/м}^2$) в годы изучения. Таким образом, в условиях севера Среднего Поволжья образцы различались по уровню изменчивости признаков, при этом некоторые образцы, независимо от того относились они к группам «слабо» или «умеренно и сильно изменяющимся», имели сходные значения отдельных признаков.

Для выяснения вопроса, влияют ли выявленные различия по уровню изменчивости признаков у образцов на характер и силу линейных корреляций между признаками, сравнили группу из 100 фенотипически «слабо изменяющихся» образцов с группой из 33 «умеренно плюс сильно изменяющихся» образцов в разные годы изучения (табл. 5). В первом случае обнаружены статистически значимые (при $P = 0,95$ и $df = 98$) положительные корреляции слабой и средней силы ($r = 0,25...0,68$) в зависимости от года между урожайностью и всеми другими признаками. Прямая очень высокой силы связь ($r = 0,95...1$) выявлена лишь между перезимовкой и числом продуктивных стеблей, причем вариации обоих признаков были слабо и отрицательно сопряжены ($r = -0,23...-0,35$) с изменчивостью числа зерен и массы зерна колоса и независимо варьировали от массы 1000 зерен. Средней и слабой силы прямые связи обнаружены между массой зерна колоса и числом зерен ($r = 0,65...0,75$), массой зерна колоса и массой 1000 зерен ($r = 0,32...0,40$). В то же время между числом зерен с колоса и массой 1000 зерен показана слабой силы отрицательная связь ($r = -0,29...-0,42$). Какого-либо существенного влияния условий года на силу и характер корреляций в группе «слабо изменяющихся» образцов не отмечено. Во второй выборке по сравнению с первой (см. табл. 5) наблюдали сохранение сильной зависимости ($r = 0,95...1$) между вариациями признаков «перезимовка» и «число стеблей перед уборкой на 1 м^2 », усиление прямых связей этих признаков с урожайностью ($r = 0,39...0,84$), особенно в 2018 и 2019 г., и отрицательных – с массой зерна колоса ($r = -0,36...-0,62$) и числом зерен с колоса ($r = -0,34...-0,72$). Корреляции достоверны при $P = 0,95$ и $df = 31$. Наряду с этими изменениями существенно снизилось число достоверных корреляций между урожайностью и признаками продуктивности колоса, а также между отдельными признаками продуктивности. Проявились различия и по силе связей между признаками в разные годы изучения образцов. В целом корреляции между признаками в группе «слабо изменяющихся» образцов сохранялись в разные годы и отличались от таковых в группе «умеренно плюс сильно изменяющихся» образцов, которые по годам варьировали сильнее.

Обсуждение результатов

Для селекции пшеницы в различных регионах России требуются источники не только превосходящие возделываемые сорта по отдельным улучшаемым признакам или их комплексам, но обладающие разнообразными адаптивными реакциями, способствующими получению стабильных урожаев. Благодаря проведенному полевому изучению образцов озимой мягкой пшеницы из разных стран мира и регионов России и применению различных методов статистического анализа, получена информация о характере изменчивости ряда хозяйственно ценных признаков пшеницы в условиях севера Среднего Поволжья, разнородности изученных образцов коллекции ВИР и рабочей коллекции ФИЦ КазНЦ РАН по уровню из-

менчивости их признаков, а также влиянии величины этого параметра на количество достоверных корреляционных связей между признаками и степень их выраженности.

Если рассматривать стабильное проявление признаков у образцов в разных условиях их выращивания в качестве параметра их адаптивной способности, то в пределах изученной выборки можно выделить группы образцов, в разной степени приспособленных к условиям севера Среднего Поволжья. Эти группы будут соответствовать группам «слабо», «умеренно» и «сильно изменяющихся» образцов. В пределах каждой из них обнаружены подгруппы. Например, в составе группы «слабо изменяющихся» – подгруппы с разными количественными значениями признаков, а «умеренно плюс сильно изменяющиеся» – подгруппы, различающиеся по комплексам наиболее сильно варьирующих признаков. Некоторые из подгрупп описаны при изложении результатов исследований. Как проявляется такая дифференциация на генетическом, биохимическом и/или физиологическом уровнях еще предстоит выяснить. Лишь после этого можно будет определить значимость использования такого подхода для характеристики образцов коллекции ВИР.

Среди образцов, наиболее интересных для вовлечения в селекционные программы ФИЦ КазНЦ РАН, можно назвать 'Волжскую 16', 'Донэко', 'Поволжскую 86', 'Славянку' из России и 'Monolog' из Украины. У всех этих образцов признаки слабо варьировали по годам, а значения отдельных признаков продуктивности колоса и массы 1000 зерен превосходили значения соответствующих признаков контрольного сорта 'Казанская 560' или были на их уровне. Сорт-стандарт в рамках предложенной классификации можно охарактеризовать как высоко адаптивный (значения S_{gr} по разным признакам от 0,5 до 3,7%), зимостойкий, высокоурожайный, с большим числом зерен с колоса, большой массой зерна колоса, но низкой массой 1000 зерен (см. табл. 3 и 4). Более высокие, чем у сорта 'Казанская 560', значения всех трех признаков продуктивности колоса наблюдали у образцов из Китая 'Hong zhong 1' и 'Hong zhong 3', которые были стабильными по всем признакам, при этом низко зимостойкими. Возможно, из-за лучшей обеспеченности более редкого стеблестоя питательными веществами эти образцы формировали крупное зерно, или у них, благодаря селекции, на более высоком энергетическом уровне достигнут компромисс между числом и размерами образующихся зерновок в колосе. Хотя эти предположения нуждаются в дальнейшей экспериментальной проверке, образцы можно рекомендовать для использования в селекции.

Следует также отметить, что линии к-65395 KS92WGRC19 и к-65393 KS96WGRC39 из США, которые были стабильными, но с пониженными показателями перезимовки и урожайности, представляют ценность для селекции как источники различных генов устойчивости. Показано, что линия KS92WGRC19 несет ржаные транслокации T4BS.4BL-6RL и T1AL.1RS от сорта 'Amigo' и устойчива к рецессивной мухе (*Mayetiola destructor* Say) (Sebesta et al., 1997), а линия KS96WGRC39 устойчива к желтой пятнистости (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs.), бурой ржавчине (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*) (Brown-Guedira et al., 1999) и стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. et Henn) (Baranova et al., 2018).

Известно, что хозяйственно ценные признаки в большинстве своем находятся под полигенным контролем,

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Пирсона между признаками в группе из 100 фенотипически «слабо изменяющихся» образцов (нижняя диагональ) и группе из 33 «умеренно плюс сильно изменяющихся» образцов (верхняя диагональ)

Table 5. Pearson's correlation coefficients between traits in a group of 100 phenotypically "weakly changing" accessions (lower diagonal) and a group of 33 "moderately plus strongly changing" accessions (upper diagonal)

Признак	Год изучения	Признак																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Урожайность, г/м ²	2017		0,50	0,71	0,49	0,39	0,44	0,50	0,39	0,43	0,36	0,23	0,27	0,09	0,02	-0,16	0,46	0,31	0,32	
Урожайность, г/м ²	2018	0,90		0,82	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	-0,10	0,42	0,16	-0,50	0,25	-0,37	0,37	0,41	0,41	
Урожайность, г/м ²	2019	0,95	0,94		0,83	0,78	0,84	0,83	0,78	0,84	-0,17	0,09	0,04	-0,50	-0,07	-0,35	0,30	0,25	0,32	
Перезимовка, балл	2016/2017	0,56	0,52	0,65		0,95	0,96	1,00	0,95	0,96	-0,59	-0,38	-0,47	-0,63	-0,34	-0,40	-0,12	-0,15	-0,06	
Перезимовка, балл	2017/2018	0,58	0,58	0,68	0,95		0,95	1,00	0,96	0,96	-0,62	-0,39	-0,51	-0,72	-0,42	-0,52	-0,09	-0,08	0,00	
Перезимовка, балл	2018/2019	0,55	0,56	0,68	0,97	0,96		0,97	0,96	1,00	-0,60	-0,36	-0,48	-0,69	-0,36	-0,47	-0,09	-0,10	-0,02	
Число стеблей, шт./м ²	2017	0,57	0,52	0,66	1,00	0,95	0,97		0,95	0,97	-0,58	-0,37	-0,47	-0,63	-0,35	-0,40	-0,11	-0,15	-0,06	
Число стеблей, шт./м ²	2018	0,58	0,57	0,68	0,95	1,00	0,96	0,95		0,96	-0,62	-0,38	-0,50	-0,72	-0,42	-0,53	-0,08	-0,07	0,01	
Число стеблей, шт./м ²	2019	0,55	0,56	0,68	0,97	0,96	0,97	0,96	0,96		-0,60	-0,36	-0,49	-0,69	-0,36	-0,48	-0,09	-0,10	-0,01	
Масса зерна колоса, г	2017	0,55	0,53	0,43	-0,34	-0,27	-0,30	-0,33	-0,27	-0,30		0,73	0,85	0,68	0,45	0,22	0,65	0,55	0,52	
Масса зерна колоса, г	2018	0,52	0,56	0,44	-0,33	-0,29	-0,30	-0,33	-0,29	-0,30	0,96		0,87	0,25	0,75	0,07	0,68	0,68	0,61	
Масса зерна колоса, г	2019	0,58	0,59	0,51	-0,28	-0,23	-0,25	-0,27	-0,24	-0,25	0,95	0,96		0,44	0,58	0,27	0,67	0,63	0,59	
Число зерен, шт.	2017	0,34	0,33	0,23	-0,35	-0,31	-0,33	-0,35	-0,32	-0,34	0,75	0,73	0,72		0,46	0,74	-0,09	-0,18	-0,24	
Число зерен, шт.	2018	0,32	0,33	0,23	-0,30	-0,31	-0,30	-0,30	-0,32	-0,31	0,66	0,71	0,68	0,95		0,53	0,06	0,04	-0,03	
Число зерен, шт.	2019	0,33	0,31	0,26	-0,28	-0,28	-0,28	-0,27	-0,28	-0,29	0,65	0,67	0,69	0,95	0,96		-0,49	-0,54	-0,61	
Масса 1000 зерен, г	2017	0,34	0,34	0,33	0,01	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,39	0,37	0,40	-0,29	-0,34	-0,35		0,96	0,97	
Масса 1000 зерен, г	2018	0,25	0,31	0,27	-0,02	0,03	0,01	-0,03	0,03	0,02	0,34	0,33	0,35	-0,31	-0,40	-0,39	0,96		0,96	
Масса 1000 зерен, г	2019	0,29	0,32	0,31	0,03	0,08	0,06	0,02	0,08	0,06	0,33	0,32	0,34	-0,33	-0,39	-0,42	0,97	0,97		0,97

Статистически незначимые коэффициенты даны жирным курсивом, прямым шрифтом – значимые с вероятностью 0,95 при df = 98 или df = 31
Statistically insignificant coefficients are given in bold italics; significant ones with a probability of 0.95 for df = 98 or df = 31 are in roman type

причем коррелированный ответ, проявляющийся в изменении фенотипических значений двух и более признаков, может быть связан с плейотропными эффектами локусов, контролирующими эти количественные признаки, неравновесием по сцеплению близко расположенных локусов или внутрислокусными взаимодействиями (Kartavtsev, 2009). Изменения в системе связей между признаками обычно происходят под действием внешних факторов, однако закономерности этих изменений исследованы пока недостаточно (Rostova, 2002). Выявленные нами различия в системе корреляций между признаками свидетельствовали, во-первых, о влиянии уровня изменчивости признаков у образцов на проявление корреляционных связей и, во-вторых, об усилении корреляционных зависимостей между отдельными парами признаками при увеличении размаха их варьирования. Эффект, когда изменяющиеся условия жизни для популяции или групп объектов приводят к росту разброса (дисперсии) различных физиологических параметров (в нашем случае хозяйственно ценных признаков) и одновременно

к увеличению корреляции между ними, хорошо известен (Gorban et al., 1997). Наши данные лишь подтверждают этот приспособительный эффект, однозначного объяснения которому пока нет.

Выводы

Набор образцов из коллекции ВИР и рабочей коллекции ФИЦ КазНЦ РАН охарактеризован по хозяйственно ценным признакам и их изменчивости в условиях севера Среднего Поволжья. Выявлены источники, превосходящие сорт-стандарт по отдельным признакам и комплексам признаков, при этом стабильно проявляющие свои свойства в разные годы выращивания. Эти образцы рекомендованы для включения в селекционные программы. Полученные знания о характере изменчивости признаков, системе корреляций между ними, их зависимости от уровня изменчивости признаков у образцов могут найти применение при определении стратегии отбора в гибридных поколениях.

Работа выполнена в рамках государственных заданий по тематическим планам:

ВИР, проект № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»;

Тат НИИСХ, обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, (номер регистрации АААА-А18-118031390148-1) «Мобилизация генетических ресурсов растений и животных, создание новаций, обеспечивающих производство биологически ценных продуктов питания с максимальной безопасностью для здоровья человека и окружающей среды».

The research was performed within the frameworks of the State Tasks according to the theme plans of:

VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production";

Tatar Research Institute of Agriculture, a separate structural subdivision of Kazan Scientific Center of the RAS, (registration number: АААА-А18-118031390148-1) "Mobilization of plant and animal genetic resources, creation of innovations that ensure the production of biologically valuable food products with maximum safety for human health and the environment".

References/Литература

- Baranova O.A., Mikhailova L.A., Kovalenko N.M., Khakimova A.G., Pykkenen V.P., Mitrofanova O.P. Resistance of winter bread wheat accessions from the VIR plant genetic resources collection to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). A catalogue (Ustoychivost obraztsov ozimoy myagkoj pshenitsy iz kollektzii geneticheskikh resursov rasteniy VIR k stebelvoy rzhavchine [*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*]. Katalog). St. Petersburg: AlfaMig; 2018. [in Russian] (Баранова О.А., Михайлова Л.А., Коваленко Н.М., Хакимова А.Г., Пюккенен В.П., Митрофанова О.П. Устойчивость образцов озимой мягкой пшеницы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). Каталог. Санкт-Петербург: АльфаМиг; 2018).
- Brown-Guedira G.L., Cox T.S., Bockus W.W., Gill B.S., Sears R.G., Leath S. Registration of KS96WGRC38 and KS96WGRC39 tan spot-resistant hard red winter wheat germplasms. *Crop Science*. 1999;39(2):596-596. DOI: 10.2135/cropsci1999.0011183X003900020069x
- Fadeeva I.D., Valiullina G.N. The use of collection of VIR for selection of winter wheat in condition Everage Volga region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;166:578-583. [in Russian] (Фадеева И.Д., Валиуллина Г.Н. Использование коллекции ВИР для создания сортов озимой пшеницы в условиях сред-
- него Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:578-583).
- Falconer D.S. Introduction to Quantitative Genetics, 2nd ed. London; New York: Longmans Green; 1981.
- Gorban A.N., Smirnova E.V., Cheusova E.P. Group stress: dynamics of correlations during adaptation and organization of systems of environmental factor systems (Grupповой stress: dinamika korrelyatsiy pri adaptatsii i organizatsiya system ekologicheskikh faktorov). Krasnoyarsk;1997. [in Russian] (Горбань А.Н., Смирнова Е.В., Чеусова Е.П. Групповой стресс: динамика корреляций при адаптации и организация систем экологических факторов. Красноярск; 1997. URL: <http://ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A28/Adapt1.pdf> [дата обращения: 24.10.2020].
- Kartavtsev Yu.F. Molecular evolution and population genetics: a tutorial (Molekulyarnaya evolyutsiya i populyatsionnaya genetika. 2nd ed. Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern University; 2009. [in Russian] (Картавцев Ю.Ф. Молекулярная эволюция и популяционная генетика. 2-е изд. Владивосток: издательство Дальневосточного университета; 2009).
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. A method for estimation of genotypes adaptive ability and stability, of environment's differentiative ability. I. Grounds of the method. *Genetika*. 1985a;21(9):1481-1490. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирую-

- щей способности среды. Сообщение I. Обоснование метода. *Генетика*. 1985a;21(9):1481-1490).
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. *A method for estimation of genotypes adaptive ability and stability, of environment's differentiative ability. II. Numerical model and discussion. Genetika*. 1985b;21(9):1481-1490. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение II. Числовой пример и обсуждение. *Генетика*. 1985b;21(9):1491-1498).
- Maltseva L.T., Filippova E.A., Bannikova N.Yu. Features of winter wheat breeding in the Urals. In: N.A. Surin, N.B. Zobova (eds). *Optimization of the breeding process as a factor in the stabilization and growth of crop production in Siberia (Optimizatsiya selektsionnogo protsesssa – faktor stabilizatsii i rosta produktssii rasteniyevodstva Sibiri)*. Krasnoyarsk; 2019. p.127-131. [in Russian] (Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю. Особенности селекции озимой пшеницы в Зауралье. В кн.: *Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири* / под ред. Н.А. Сурина, Н.В. Зобовой. Красноярск; 2019. С.127-131). URL: <https://ksc.krasn.ru/upload/medialibrary/0b9/0b94c6cee3826ba952f4edfd6be23c98.pdf> [дата обращения: 02.10.2020].
- Maslova G.Ya., Abdryaev M.R., Sharapov I.I., Sharapova Yu.A. The results of studying collection material of winter wheat in the conditions of Samara region. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018;20(2(3)):446-449. [in Russian] (Маслова Г.Я., Абдряев М.Р., Шарапов И.И., Шаропова Ю.А. Результаты изучения коллекционного материала озимой пшеницы в условиях Самарской области. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018;20(2(3)):446-449). DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00144
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Methodological guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektssii 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).
- Merezhko A.F. The problem of donors in plant breeding. St. Petersburg: VIR; 1994. [in Russian] (Мережко А.Ф. Проблема доноров в селекции растений. Санкт-Петербург: ВИР; 1994).
- Methods of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize and fodder crops. Moscow; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва; 1989). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf [дата обращения: 13.09.2020].
- Pryanishnikov A.I. Scientific bases of adaptive breeding in the Volga region (Nauchnye osnovy adaptivnoy selektsii v Povolzh'ye). Moscow: RAS; 2018. [in Russian] (Прянишников А.И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. Москва: РАН; 2018).
- Rostova N.S. Correlations: structure and variability. In: *Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. Ser. 1. Vol. 94*. St. Petersburg: St. Petersburg University; 2002. [in Russian] (Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. В кн.: *Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 1. Т. 94*. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2002).
- Sebesta E.E., Hatchett J.H., Friebe B., Gill B.S., Cox T.S., Sears R.G. Registration of KS92WGRC17, KS92WGRC18, KS92WGRC19, and KS92WGRC20 winter wheat germplasm resistant to Hessian fly. *Crop Science*. 1997;37(2):635-635. DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700020065x
- Sokolenko N.I., Komarov N.M. Source material for breeding of winter wheat on productivity and the most important adaptive characters. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(9):26-29. [in Russian] (Соколенко Н.И., Комаров Н.М. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и важнейшие адаптивные признаки. *Достижения науки и техники АПК*. 2016; 30(9):26-29).
- Syukov V.V., Menibaev A.I. Ecological plant breeding: types and practice (review). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(4(3)):463-466. [in Russian] (Сюков В.В., Менибаев А.И. Экологическая селекция растений: типы и практика (обзор). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015;17(4(3)):463-466).
- Tshikunde N.M., Mashilo J., Shimelis H., Odindo A. Agronomic and physiological traits, and associated quantitative trait loci (QTL) affecting yield response in wheat (*Triticum aestivum* L.): A review. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1428. DOI: 10.3389/fpls.2019.01428
- Zaitsev G.N. Mathematical statistics in experimental botany (Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1984).
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants as a separate branch of science. Theory and practice (Ekologicheskaya genetika kulturnykh rasteniy kak samostoyatel'naya nauchnaya distsiplina. Teoriya i praktika). Krasnodar: Prosvescheniye-Yug; 2010. [in Russian] (Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. Краснодар: Просвещение-Юг; 2010).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Фадеева И.Д., Газизов И.Н., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на севере Среднего Поволжья. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):71-82. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-71-82

Fadeeva I.D., Gazizov I.N., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Source material for breeding winter bread wheat in the north of the Middle Volga region. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(4):71-82. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-71-82

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-71-82>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Fadeeva I.D. <https://orcid.org/0000-0002-8453-5437>

Gazizov I.N. <https://orcid.org/0000-0002-8522-602X>