



## Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях севера Среднего Поволжья

И. Д. Фадеева<sup>1</sup>, И. Ю. Игнатъева<sup>1</sup>, А. Г. Хакимова<sup>2</sup>, О. П. Митрофанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Казанский научный центр Российской академии наук, Казань, Россия

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

**Автор, ответственный за переписку:** Ольга Павловна Митрофанова, o.mitrofanova@vir.nw.ru

**Актуальность.** Создание сортов с высокой стабильной урожайностью и высоким качеством зерна – основные направления селекции пшеницы. Цель исследования – охарактеризовать набор образцов озимой мягкой пшеницы из коллекций ВИР и ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН по урожайности, содержанию белка в зерне (P, %) и набухаемости муки в уксусной кислоте (S, мл); отобрать лучшие образцы по комплексу этих признаков для включения в программу скрещиваний.

**Материалы и методы.** В условиях севера Среднего Поволжья проведено трехлетнее (2016–2019 гг.) изучение 23 образцов озимой мягкой пшеницы по названным выше признакам с использованием общепринятых методов.

**Результаты и заключение.** Урожайность образцов варьировала по годам изучения, однако ни один из них не превзошел по этому признаку сорт-стандарт 'Казанская 560'. Значения содержания белка в зерне у образцов были средними и высокими. Стабильно высокое содержание белка в зерне (15,1–16,1%) имели образцы 'TAW 42971/80' (к-58363, Германия); 'Лютесценс 471 Н8' (Казахстан); 'Rita' (к-58057), 'Scotty' (к-59322) и 'Nelson' из США; 'Московская 39' (к-65160, Россия); 'Bilotserkivchanka' (к-64330) и 'Barkan' (к-64495) из Украины. Величина показателя набухаемости муки в уксусной кислоте у образцов не опускалась ниже 50 мл, что свидетельствовало о формировании зерна с высоким качеством. На это указывал также индекс качества белка, определяемый отношением S : P; он колебался от 3,6 до 4,7. Отобраны образцы – источники высокого качества белка для использования в селекции: 'CDC Clair' (к-64168, Канада), 'Лютесценс 471 Н8' (Казахстан), 'Московская 39' (Россия), 'Barkan' и 'Favorytka' (к-64337) из Украины.

**Ключевые слова:** образец, урожайность, содержание белка, набухаемость муки в уксусной кислоте, индекс качества белка

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственных заданий по тематическим планам: ВИР, проект № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»; ТатНИИСХ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН № АА-АА-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».

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

**Для цитирования:** Фадеева И.Д., Игнатъева И.Ю., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях севера Среднего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):118-126. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126

## Source material for breeding winter bread wheat for grain quality in the north of the Middle Volga Region

Irina D. Fadeeva<sup>1</sup>, Irina Yu. Ignatieva<sup>1</sup>, Anida G. Khakimova<sup>2</sup>, Olga P. Mitrofanova<sup>2</sup><sup>1</sup> Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Olga P. Mitrofanova, o.mitrofanova@vir.nw.ru

**Background.** Development of cultivars with high stable yields and high grain quality is the main trend in wheat breeding. The aim of this study was to characterize a set of winter bread wheat accessions from the VIR collection and the working collection of Kazan Scientific Center in terms of their yield, protein content in grain (P, %), and swelling of flour in acetic acid (S, ml), and select the best accessions for the combination of these characters for use in a crossbreeding program.

**Materials and methods.** Twenty-three winter bread wheat accessions were studied for the abovementioned characters in the north of the Middle Volga Region using conventional techniques. The study lasted three years (2016–2019).

**Results and conclusion.** The yield of the accessions varied across the years of studies; however, none of them surpassed the reference cv. 'Kazanskaya 560'. The values of protein content in grain were medium or high. The following accessions had high and stable levels of protein content in grain (15.1–16.1%): 'TAW 42971/80' (k-58363, Germany); 'Lutescens 471 N8' (Kazakhstan); 'Rita' (k-58057), 'Scotty' (k-59322) and 'Nelson' (all from the U.S.); 'Moskovskaya 39' (k-65160, Russia); 'Bilotserkivchanka' (k-64330) and 'Barkan' (k-64495) (both from Ukraine). Flour swelling power in acetic acid did not fall below 50 ml, attesting to the formation of high-quality grain. This was also confirmed by the protein quality index determined by the S : P ratio, which ranged from 3.6 to 4.7. Sources with high-quality protein were selected from the tested accessions for use in breeding: 'CDC Clair' (k-64168, Canada), 'Lutescens 471 H8' (Kazakhstan), 'Moskovskaya 39' (Russia), 'Barkan' (Ukraine), and 'Favorytka' (k-64337, Ukraine).

**Keywords:** accession, yield, protein content, flour swelling power in acetic acid, protein quality index

**Acknowledgements:** the research was performed within the frameworks of the State Tasks according to the theme plans of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring 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", and Tatar Research Institute of Agriculture, a separate structural subdivision of Kazan Scientific Center of the RAS, (registration number: AAAA-A18-118031390148-1) "Mobilization of plant and animal genetic resources, and development of innovations that ensure the production of biologically valuable food products with maximum safety for human health and the environment".

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

**For citation:** Fadeeva I.D., Ignatieva I.Yu., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Source material for breeding winter bread wheat for grain quality in the north of the Middle Volga Region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):118-126. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126

## Введение

Создание сортов озимой мягкой пшеницы, дающих стабильно высокие урожаи в условиях изменяющегося климата и резкой смены погоды, к тому же имеющих высокое содержание белка в зерне требуемого качества, – основные задачи селекции в разных странах мира (Nekrasov et al., 2019; Sandukhadze et al., 2021; Vitale et al., 2020). Считают, что урожайность можно повысить путем расширения генетической основы устойчивости пшеницы к биотическим и абиотическим стрессорам, реализации большего соответствия роста и развития пшеничного растения внешним условиям (Tadesse et al., 2019).

На содержание белка в зерне влияют многие факторы: особенности генотипа, неблагоприятные метеорологические условия, состав почвы и минерального питания, продолжительность вегетационного периода, предшественники (Kovtun, Samofalova, 2006). Установлено, что оно уменьшается при избыточном количестве осадков и невысоких температурах. Напротив, повышенный температурный режим и дефицит осадков могут приводить к увеличению его процентного содержания вследствие торможения отложения крахмала в эндосперме (Alferov, 2020; Okhremenko, Gurskaya, 2015). Селекция на повышение белка в зерне пшеницы осложнена отрицательной связью этого признака с урожайностью и необходимостью одновременно улучшать различные параметры его качества (Kravchenko et al., 2020). В настоящее время показана перспективность использования в селекции генов *Gpc-B1*, *Gpc-A1* и *Gpc-D1*, локализованных в хромосомах шестой гомеологической группы, и гена *Gpc-2* – второй гомеологической группы, которые увеличивают содержание белка, цинка и железа в зерне за счет более эффективной ремобилизации азота из листьев в колосья во время налива зерна. Эти гены относятся к NAC-факторам транскрипции. С использованием молекулярных маркеров названных генов созданы новые высокобелковые и высокоурожайные сорта и различные почти изогенные линии (Mitrofanova, Khakimova, 2016).

Известно, что требования к технологическим свойствам зерна пшеницы меняются в зависимости от состояния рынка этой сельскохозяйственной культуры и в целом экономики, существующих пищевых привычек в питании населения, изменений запросов потребителей, технического и технологического прогресса в мукомольной и хлебопекарной промышленности (Pumruansky, 1971; Meleshkina, 2009). Определение седиментации (набухаемости) муки в слабых органических кислотах – простой косвенный метод оценки качества зерна, который характеризуется высокой воспроизводимостью (Vasilenko, Komarov, 1987) и дает возможность на небольших навесках исследовать качество белка зерна у довольно больших объемов коллекционного и селекционного материалов (Pumruansky, 1971; Konarev, 1980). Физико-химической основой для тестов седиментации является дифференциальное набухание и флокуляция глютеина и других нерастворимых компонентов зерна пшеницы при их взаимодействии с водой в подкисленной среде (Morris et al., 2007). Выявлена положительная связь показателя седиментации с содержанием белка, количеством и качеством клейковины, объемом хлеба (Hruškova, Faměra, 2003; Кауа, Аккура, 2014). Следует отметить, что определение набухаемости позволяет оценить различия по качеству белка в зерне независимо от повреждения его клопом вредной черепашкой, порчи

в результате неправильной сушки или при наличии до 30% доли проросшего зерна (Fadееva et al., 2015; Pryanishnikov, 2009).

*Цель нашего исследования* – охарактеризовать образцы озимой мягкой пшеницы коллекции ВИР и рабочей коллекции ФИЦ КазНЦ РАН по урожайности, содержанию белка в зерне и показателю набухаемости муки в уксусной кислоте; отобрать источники для дальнейшего изучения и использования в селекции в условиях Среднего Поволжья.

## Материалы и методы

Оценку озимой мягкой пшеницы проводили на опытном поле Татарского НИИСХ в 2016/2017, 2017/2018 и 2018/2019 годах. Закладка опыта осуществлялась в соответствии с методическими указаниями по изучению мировой коллекции ВИР (Merezhko, 1999). Предшественник – чистый пар. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7, а уборку урожая – селекционным комбайном Sampo Rosenlew SR 2010. Площадь делянок – 2 м<sup>2</sup>. В состав изучаемого набора вошли образцы, которые ранее не оценивали в условиях севера Среднего Поволжья или которые нуждались в дополнительной проверке в отношении зависимости их качества зерна от условий выращивания. Набор включал 6 образцов из различных селекционных учреждений России, 2 – Германии, 3 – Казахстана, 1 – Канады, 4 – США и 7 – Украины. Стандартом служил сорт 'Казанская 560' (к-63565).

Во все годы изучения посев образцов озимой мягкой пшеницы проводили в оптимальные сроки, растения за осенний период успевали хорошо раскуститься. В 2016 г. период кущения характеризовался низкими температурами воздуха и большим количеством осадков, что привело к более раннему прекращению осенней вегетации растений.

Возобновление весенней вегетации и кущение проходили в разных условиях (табл. 1). В 2017 г. растения озимой пшеницы успешно регенерировали, сформировали дополнительные побеги кущения. Обильные осадки и невысокие температуры воздуха в июне и начале июля привели к удлинению межфазных периодов «выход в трубку – колошение» и «колошение – цветение», а также в целом вегетационного периода. Созревание озимой пшеницы произошло на две недели позже среднемноголетних сроков.

В 2018 г. весенняя вегетация озимой пшеницы началась позже обычного. Развитие растений сдерживали низкие температуры воздуха и почвы. Среднесуточная температура воздуха за третью декаду апреля была на 2,9°C ниже нормы, и лишь к концу первой декады мая почва прогрелась до 8°C. Фаза кущения проходила в условиях длинного светового дня и недостатка влаги (см. табл. 1). Прохладная погода первой декады июня замедлила прохождение фазы «выход в трубку – колошение». Цветение озимой пшеницы началось во вторую декаду июня, позже среднемноголетних сроков примерно на неделю. Формирование зерновки и налив зерна проходили в засушливых условиях, что ускорило отток пластических веществ в зерновку и созревание. Уборка была проведена в более ранние сроки (21–23 июля).

В 2019 г., в конце первой и начале второй декады мая, температура воздуха была аномально высокой для данного периода. Почва не успела созреть и сильно уплотнилась. Растения озимой пшеницы в таких условиях не кустились, а ослабленные и плохо раскустившиеся стали

**Таблица 1.** Значения гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК) в различные фазы развития растений мягкой пшеницы в условиях севера Среднего Поволжья**Table 1.** Values of Selyaninov's hydrothermal moisture coefficient (HTC) in different phases of bread wheat plant development in the environments of the northern Middle Volga Region

Фаза развития культуры	Год		
	2017	2018	2019
Весеннее кущение	2,54	0,30	0,86
Выход в трубку	0,60	0,90	0,93
Колошение – цветение	2,05	1,42	0,78
Налив зерна	4,70	0,32	1,30
Созревание	0,26	1,26	1,84

погибать. Это привело к изреживанию посева. В период налива и созревания территория была достаточно увлажнена (см. табл. 1), что способствовало формированию хорошего урожая зерна.

Содержание азота в зерне определяли по Кьельдалю (GOST 10846-91..., 1991). Коэффициент пересчета на сырой протеин равен 5,7 (Bazavluk, 1968). Показатель седиментации оценивали по набухаемости муки в слабой уксусной кислоте по методике (Berkutova, 1991). Для классификации образцов по содержанию белка и величине показателя набухаемости муки в уксусной кислоте использовали шкалы ВИР (Korneychuk, Komarov, 1984). Для определения, насколько стабильны в разные годы по величине показателя набухаемости образцы мягкой пшеницы, в исследуемую выборку были также включены источники, ранее отобранные по этому признаку в условиях северных районов Среднего Поволжья (Fadееva, Valioulina, 2016).

Статистическую обработку полученных данных выполняли методами вариационного, дисперсионного и корреляционного анализов (Zaitsev, 1984) с использованием программы Microsoft Excel и Statistica 7.

### Результаты и обсуждение

Дисперсионный анализ показал, что варьирование изученных признаков у образцов достоверно обуславливали по меньшей мере два фактора: генетические различия образцов и особенности погодных условий года выращивания. При этом различия в погодных условиях сильнее отражались на изменчивости признаков, чем генетические различия образцов (табл. 2).

Средняя урожайность образцов выборки составила в 2017 г. 462,8 г/м<sup>2</sup> (пределы варьирования от 273,0 до 578,6 г/м<sup>2</sup>), 2018 г. – 410,5 г/м<sup>2</sup> (260,0–554,0 г/м<sup>2</sup>), 2019 г. – 479,1 г/м<sup>2</sup> (320,9–557,7 г/м<sup>2</sup>). Ни один из образцов не превзошел по этому признаку сорт-стандарт 'Казанская 560' со средней урожайностью 611,1 г/м<sup>2</sup> и предела ее варьирования от 585,3 до 624,6 г/м<sup>2</sup>. Образцы по величине отношения их средней урожайности за три года к средней урожайности сорта-стандарта были распределены в классы со «средней» урожайностью (90,1–95,0% от стандарта) – 'Безенчукская 380' (к-61966, Россия), «низкой» (70,1–90,0%) – 15 образцов и «очень низкой» (до 70%) – 7 образцов. Наряду с 'Безенчукской 380',

**Таблица 2.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа без повторностей по влиянию на урожайность и признаки качества зерна факторов «генотип образца» и «год изучения»**Table 2.** Two-way ANOVA results without replications of the effect of the factors "genotype of an accession" and "year of study" on yield and grain quality

Вариабельность данных	Степень свободы, df	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия, $\sigma^2$	$F_{\phi}$	Сумма квадратов отклонений	Дисперсия, $\sigma^2$	$F_{\phi}$
		<i>Набухаемость в уксусной кислоте (S), мл</i>			<i>Содержание белка в зерне (P), %</i>		
Общая	71	2778,65	39,14	3,18	62,08	0,87	2,02
Фактор 1 – генотип	23	848,65	36,90	<b>3,00**</b>	20,84	0,91	<b>2,10*</b>
Фактор 2 – год	2	1364,69	682,35	<b>55,53***</b>	21,36	10,68	<b>24,73***</b>
Остаточная	46	565,31	12,29		19,88	0,43	
		<i>Показатель S : P</i>			<i>Урожайность, г/м<sup>2</sup></i>		
Общая	71	10,71	0,15	2,09	545325,28	7680,64	7,12
Фактор 1 – генотип	23	5,77	0,25	<b>3,48***</b>	434178,95	18877,35	<b>17,50***</b>
Фактор 2 – год	2	1,65	0,82	<b>11,44***</b>	61524,06	30762,03	<b>28,52***</b>
Остаточная	46	3,29	0,07		49622,27	1078,75	

наиболее высокие показатели урожайности имели образцы 'Славянка' (к-58531) и 'Арфа' (к-63930) из России; 'Bilotserkivchanka' (к-64330), 'Artemida' (к-64344) и 'Yana' (к-64335) из Украины и 'Nelson' (к-63522) из США (табл. 3).

Рассчитанные коэффициенты вариации (CV, %) урожайности в изученной выборке колебались от 2,7% ('Безенчукская 380', Россия) до 23,4% ('Лютесценс 499 Н8', Казахстан). Принято считать, что значения коэффициентов вариации менее 10% свидетельствуют о незначительной изменчивости признака, выше 10%, но менее 20% – средней, более 20% – значительной. Согласно вычисленным коэффициентам вариации урожайность всех изученных нами образцов из России, а также некоторых образцов из Казахстана – 'Karabalykskaya ozimaya' (к-67222); США – 'Scotty' (к-59322), 'Winridge' (к-59340), 'Nelson'; Канады – 'CDC Clair' (к-64168) и Украины – 'Suputnitsya' (к-64323), 'Bilotserkivchanka', 'Artemida' и 'Lu-

ganchanka' (к-64501) слабо варьировала по годам. Наиболее изменчивой (23,4%) урожайность была у образца 'Лютесценс 499 Н7' (Казахстан). Все остальные образцы имели средний уровень изменчивости этого признака.

По содержанию белка в зерне образцы были объединены в группы среднебелковые (от 12,7 % до 15,0%) и высокобелковые (от 15,1 до 18,0%). Средние значения признака «содержание белка в зерне» у образцов за три года изучения варьировали от 13,5% ('Miras', к-59016, Германия) до 16,1% ('Rita', к-58057, США), при этом у 23 образцов они мало изменялись по годам (коэффициенты вариации от 2,1 до 9,4%). Лишь у образца 'Олимпия 2' (к-60317, Россия) величина коэффициента вариации составила 11,2% (табл. 4). Наиболее высокие значения содержания белка в зерне для всей выборки образцов были получены в засушливом 2018 г. (средняя 15,6%), а наиболее низкие – во влажном 2017 г. (14,2%). Наряду с 'Rita', высокий белок в зерне имели образцы

**Таблица 3. Урожайность (г/м<sup>2</sup>) и коэффициенты вариации (CV, %), характеризующие изменчивость изученных образцов в условиях севера Среднего Поволжья**

**Table 3. Yield (g/m<sup>2</sup>) and coefficients of variation (CV, %) characterizing the variability of the studied accessions in the environments of the northern Middle Volga Region**

№ по каталогу ВИР	Название	Страна происхождения	Годы				CV, %
			2017	2018	2019	средняя	
59016	Miras	Германия	429,3	322,6	462,3	404,7	18,0
58363	TAW 42971/80	Германия	490,1	398,6	509,2	466,0	12,7
67222	Karabalykskaya ozimaya	Казахстан	368,7	434,7	434,9	412,8	9,3
-	Лютесценс 499 Н7	Казахстан	374,4	260,0	419,0	351,1	23,4
-	Лютесценс 471 Н8	Казахстан	423,8	388,8	489,0	433,9	11,7
64168	CDC Clair	Канада	456,3	387,0	448,5	430,6	8,8
58531	Славянка	Россия	550,9	474,0	547,2	524,0	8,3
60317	Олимпия 2	Россия	430,1	390,0	455,4	425,2	7,8
61966	Безенчукская 380	Россия	578,6	554,0	551,1	561,2	2,7
63565	Казанская 560 (ст.)	Россия	624,6	585,3	623,3	611,1	3,7
63930	Арфа	Россия	541,2	467,5	527,6	512,1	7,7
64160	Московская 39	Россия	523,6	429,7	472,5	475,3	9,9
64327	Гарант	Россия	292,1	266,5	320,9	293,2	9,3
58057	Rita	США	378,1	294,4	372,6	348,4	13,4
59332	Scotty	США	417,3	472,8	475,6	455,2	7,2
59340	Winridge	США	273,0	264,0	316,0	284,3	9,8
63522	Nelson	США	461,7	532,3	527,5	507,2	7,8
64323	Suputnitsya	Украина	397,3	361,2	372,3	376,9	4,9
64330	Bilotserkivchanka	Украина	516,8	455,4	529,7	500,6	7,9
64335	Yana	Украина	535,9	407,4	557,7	500,3	16,2
64337	Favorytka	Украина	529,7	391,5	512,4	477,9	15,8
64344	Artemida	Украина	497,0	460,1	544,2	500,4	8,4
64495	Barkan	Украина	503,1	414,4	515,2	477,6	11,5
64501	Luganchanka	Украина	513,7	440,9	513,5	489,4	8,6

**Таблица 4.** Содержание белка, набухание муки в уксусной кислоте и индекс качества белка у изученных образцов озимой мягкой пшеницы**Table 4.** Protein content, flour swelling power in acetic acid, and protein quality index in the studied winter bread wheat accessions

№ по каталогу ВИР	Образец	Содержание белка (P) в зерне, %		Показатель набухаемости муки в уксусной кислоте (S), мл		Индекс S : P	
		среднее/лимиты	C <sub>v</sub> , %	среднее/лимиты	C <sub>v</sub> , %	среднее/лимиты	C <sub>v</sub> , %
69016	Miras	$\frac{13,5}{13,0 - 14,1}$	4,2	$\frac{63,0}{59 - 68}$	7,3	$\frac{4,7}{4,4 - 5,1}$	8,1
58363	TAW 42971/80	$\frac{15,1}{14,2 - 16,2}$	6,8	$\frac{61,67}{58 - 68}$	8,9	$\frac{4,1}{3,9 - 4,2}$	3,7
67222	Karabalykская озимая	$\frac{15,0}{14,5 - 15,5}$	3,4	$\frac{58,0}{55 - 62}$	6,2	$\frac{3,9}{3,8 - 4,0}$	2,9
-	Лютеценс 499 Н7	$\frac{14,7}{13,1 - 15,5}$	9,3	$\frac{66,0}{58 - 76}$	13,9	$\frac{4,5}{3,8 - 4,9}$	14,4
-	Лютеценс 471 Н8	$\frac{15,2}{13,8 - 16,2}$	8,2	$\frac{68,3}{64 - 73}$	6,6	$\frac{4,5}{4,4 - 4,6}$	3,1
64168	CDC Clair	$\frac{14,6}{14,3 - 14,9}$	2,1	$\frac{66,3}{62 - 69}$	5,7	$\frac{4,6}{4,3 - 4,8}$	4,7
58531	Славянка	$\frac{15,0}{13,8 - 15,7}$	7,0	$\frac{65,0}{62...68}$	4,6	$\frac{4,3}{4,1 - 4,5}$	4,2
60317	Олимпия 2	$\frac{14,6}{13,4 - 16,5}$	11,2	$\frac{56,7}{50 - 65}$	13,5	$\frac{3,9}{3,7 - 3,9}$	3,0
61966	Безенчукская 380	$\frac{14,9}{14,5 - 15,7}$	4,7	$\frac{60,0}{50 - 66}$	14,5	$\frac{4,0}{3,4 - 4,4}$	12,6
63565	Казанская 560 (ст.)	$\frac{14,7}{14,5 - 15,1}$	2,4	$\frac{59,0}{55 - 65}$	9,0	$\frac{4,0}{3,8 - 4,3}$	6,6
63930	Арфа	$\frac{14,1}{13,3 - 14,7}$	5,1	$\frac{62,7}{56 - 68}$	9,8	$\frac{4,4}{4,2 - 4,6}$	4,7
64160	Московская 39	$\frac{15,7}{14,9 - 16,4}$	4,8	$\frac{68,3}{66 - 71}$	3,7	$\frac{4,4}{4,2 - 4,6}$	4,2
64327	Гарант	$\frac{14,5}{13,7 - 15,8}$	7,8	$\frac{59,3}{53...70}$	15,7	$\frac{4,1}{3,9 - 4,4}$	7,6
58057	Rita	$\frac{16,1}{15,3 - 16,8}$	4,7	$\frac{58,7}{52 - 69}$	15,5	$\frac{3,6}{3,2 - 4,1}$	12,4
59332	Scotty	$\frac{15,7}{15,4 - 16,0}$	1,9	$\frac{57,0}{52 - 61}$	8,0	$\frac{3,6}{3,4 - 3,8}$	6,2
59340	Winridge	$\frac{15,0}{14,3 - 15,8}$	5,1	$\frac{60,3}{55 - 68}$	11,3	$\frac{4,0}{3,8 - 4,6}$	12,2
63522	Nelson	$\frac{15,5}{14,3 - 16,3}$	6,8	$\frac{61,3}{55 - 71}$	13,9	$\frac{4,0}{3,5 - 4,4}$	11,5
64323	Suputnitsya	$\frac{14,8}{14,3 - 15,7}$	5,5	$\frac{60,7}{57 - 67}$	9,1	$\frac{4,1}{3,6 - 4,7}$	12,9
64330	Bilotserkivchanka	$\frac{15,1}{14,4 - 15,8}$	4,6	$\frac{61,3}{55 - 67}$	9,8	$\frac{4,1}{3,8 - 4,2}$	5,3
64335	Yana	$\frac{14,7}{14,2 - 15,8}$	6,3	$\frac{61,7}{56 - 70}$	12,0	$\frac{4,2}{3,9 - 4,4}$	5,8
64337	Favorytka	$\frac{14,5}{13,4 - 16,0}$	9,4	$\frac{66,0}{62 - 70}$	6,1	$\frac{4,6}{4,4 - 4,7}$	3,9
64344	Artemida	$\frac{14,6}{13,9 - 15,5}$	5,6	$\frac{62,0}{58 - 68}$	8,5	$\frac{4,2}{4,2 - 4,4}$	3,0
64495	Barkan	$\frac{15,4}{14,6 - 15,8}$	4,3	$\frac{65,7}{60 - 72}$	9,2	$\frac{4,3}{4,1 - 4,6}$	6,4
64501	Luganchanka	$\frac{14,6}{13,9 - 16,0}$	8,1	$\frac{57,3}{52 - 66}$	13,2	$\frac{3,9}{3,7 - 4,1}$	5,3

'TAW 42971/80' (к-58363, Германия), 'Лютесценс 471 Н8' (Казахстан), 'Московская 39' (к-65160, Россия), 'Scotty' (к-59322) и 'Nelson' (оба США); 'Barkan' (к-64495) и 'Bilotserkivchanka' (оба Украина). Если руководствоваться требованиями, указанными в межгосударственном стандарте (GOST 9353-2016..., 2019), по которым пшеницу с содержанием белка не менее 14,5% относят к I классу качества, не менее 13,5% – ко II и не менее 12,0% – к III, то из изученных нами образцов 20 можно причислить к I классу и четыре образца – ко II (см. табл. 4).

Величина показателя набухаемости муки у изученных образцов не опускалась ниже 50 мл, что свидетельствовало о возможности в условиях северных районов Среднего Поволжья получать зерно высокого качества (см. табл. 4). Средние значения показателя седиментации образцов за три года изучения варьировали от 56,7 мл до 68,3 мл, то есть они были высокими и очень высокими (см. табл. 4). В группу с очень высокими значениями набухаемости муки вошли образцы из России ('Московская 39' – 68,3 мл), Казахстана ('Лютесценс 499 Н7' – 66,0 мл) и 'Лютесценс 471 Н8' – 68,3; Канады ('CDC Clair' – 66,3 мл) и Украины ('Favorytka', к-64337 – 66,0 мл и 'Barkan' – 65,7 мл). Следует отметить, что наиболее низкую изменчивость показателя набухаемости продемонстрировали образцы 'Московская 39' (3,7%) и 'Славянка' (4,6%). В эту же группу с коэффициентом вариации показателя набухаемости менее 10% вошли еще 13 образцов, в то время как остальные девять образцов составили группу со средним уровнем его вариабельности (11,3–15,7%).

Поскольку показатель набухаемости муки одновременно зависит и от количества суммарного белка в зерне, и от состава клейковинных белков, то для более достоверных сравнений образцов используют отношение  $S : P$  (индекс качества белка), то есть определяют величину седиментации ( $S$ , мл), приходящуюся на единицу белка ( $P$ , %) (Konarev, 1980). Индекс качества белка довольно хорошо коррелирует с данными, получаемыми на альвеографе. Установлено, что для сортов, имеющих среднюю и выше «силу» муки, то есть  $W > 150$  е.а. (единиц альвеографа), величина отношения  $S : P > 2,5$ ; а при  $W < 80$  е.а., что свидетельствует об очень низкой «силе» муки, величина отношения  $S : P < 1,7$  (Konarev, 1980; Vasilenko, Komarov, 1987). В нашем исследовании значения этого показателя у образцов колебались от 3,6 до 4,7 (см. табл. 4). Наиболее высокими они были у образцов 'Miras' (4,7) из Германии, 'CDC Clair' (4,6) из Канады, 'Favorytka' (4,6) из Украины, 'Лютесценс 499 Н8' (4,5) и 'Лютесценс 471 Н8' (4,5) из Казахстана; 'Московская 39' (4,4) и 'Арфа' (4,4) из России. Величина коэффициентов вариации этого показателя изменялась от 2,9% ('Karabalykskaya ozimaya', Казахстан) до 12,9% (к-64323 'Suputnitsya', Украина). Группу, характеризующуюся средней вариабельностью индекса качества белка, составили шесть образцов, остальные образцы образовали группу низковариабельных.

Коэффициенты корреляции между отдельными признаками образцов в конкретный год и их средними значениями за три года были статистически значимыми и в основном высокими. Так, для урожайности зерна они составили  $r = 0,95$  (2017 г.),  $r = 0,93$  (2018 г.) и  $r = 0,97$  (2019 г.); содержания белка –  $r = 0,56$ ,  $r = 0,70$ ,  $r = 0,86$ ; набухаемости муки в уксусной кислоте –  $r = 0,90$ ,  $r = 0,69$ ,  $r = 0,72$ ; индекса качества белка –  $r = 0,87$ ,  $r = 0,75$  и  $r = 0,78$  соответственно. Этот факт свидетельствует в пользу того, что образцы хорошо сохраняли свои ранги в годы

изучения по всем изученным признакам. Другими словами, они проявляли однотипную реакцию на изменения погодных условий.

## Заключение

Полевая предварительная оценка коллекционных образцов в почвенно-климатических условиях региона, для которого планируют создавать новые сорта, – обязательное условие их вовлечения как исходного материала в последующую селекционную работу. Наблюдаемое варьирование значений признаков у образцов в годы изучения обусловлены, по-видимому, как их генетическими различиями, в том числе по способности адаптироваться к условиям севера Среднего Поволжья, так и влиянием факторов внешней среды. По величине урожайности ни один из образцов не достиг уровня сорта-стандарта 'Казанская 560' (к-63565), в то время как по содержанию белка в зерне, величине показателя набухаемости муки в уксусной кислоте и индексу качества белка образцы были или на уровне сорта-стандарта, или превосходили его.

В группу образцов-источников с высоким индексом качества белка, как и по результатам оценки за 2011–2013 гг. (Fadееva, Valioullina, 2016), вошли: 'Лютесценс 471 Н8' (Казахстан), 'Московская 39' (к-64160, Россия) и 'Barkan' (к-64495, Украина), при этом два последних образца также имели повышенное содержание белка в зерне. К этой же группе следует отнести 'CDC Clair' (к-64168, Канада) и 'Favorytka' (к-64337, Украина). Все названные образцы довольно стабильны и перспективны для использования в селекции на качество зерна.

## References / Литература

- Alferov A.A. Associative nitrogen, yield, and agroecosystem sustainability (Assotsiativnyy azot, urozhay i ustoychivost' agroekosistemy). Moscow: Russian Academy of Sciences; 2020. [in Russian] (Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. Москва: РАН; 2020). DOI: 10.25680/VNIIA.2019.21.92.152
- Bazavluk I.M. Accelerated semimicro-Kjeldahl method for determining nitrogen in plant material in genetic and breeding studies (Uskorennyy metod polumikro-Kyeldalya dlya opredeleniya azota v rastitel'nom material pri geneticheskikh i selektsionnykh issledovaniyakh). *Cytology and Genetics*. 1968;3:249. [in Russian] (Базавлук И.М. Ускоренный метод полумикро-Кьельдала для определения азота в растительном материале при генетических и селекционных исследованиях. *Цитология и генетика*. 1968;3:249).
- Berkutova N.S. Assessment methods and formation of grain quality (Metody otsenki i formirovaniye kachestva zerna). Moscow: Rosagropromizdat; 1991. [in Russian] (Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. Москва: Росагропромиздат; 1991).
- Fadееva I.D., Tagirov M.Sh., Valioullina G.N., Kirillova E.S. Study of source material of winter wheat for breeding on the content and quality of protein. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(5):18-19. [in Russian] (Фадеева И.Д., Тагиров М.Ш., Валиуллиная Г.Н., Кириллова Е.С. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на содержание и качество белка. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(5):18-19).
- Fadееva I.D., Valioullina G.N. Estimation of breeds of winter grain quality and resistance to fungal diseases. *Legumes*

- and Groat Crops. 2016;4(20):79-84. [in Russian] (Фадеева И.Д., Валиуллина Г.Н. Оценка сортов озимой пшеницы по качеству зерна и устойчивости к грибным болезням. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;4(20):79-84).
- GOST 10846-91. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: USSR Standardization and Metrology Committee; 1991. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР; 1991). URL: <https://gosthelp.ru/gost/gost28268.html> [дата обращения: 23.09.2021].
- GOST 9353-2016. Wheat. Technological terms (Pshenitsa. Tekhnicheskiye usloviya). Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/62924> [дата обращения: 23.09.2021].
- Hruškova M., Faměra O. Prediction of wheat and flour Zeleny sedimentation value using NIR technique. *Czech Journal of Food Sciences*. 2003;21(3):91-96. DOI: 10.17221/3482-CJFS
- Kaya Y., Akcura M. Effects of genotypes and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology (Campinas)*. 2014;34(2):386-393. DOI: 10.1590/fst.2014.0041
- Konarev V.G. Wheat proteins (Belki pshenitsy). Moscow: Kolos; 1980. [in Russian] (Конарев В.Г. Белки пшеницы. Москва: Колос; 1980).
- Korneychuk V.A., Komarov V.I. (eds). Classifier of technological characteristics of cereal and groat crops (Klassifikator tekhnologicheskikh priznakov zernovykh i krupyanykh kultur). Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Классификатор технологических признаков зерновых и крупяных культур / под ред. В.А. Корнейчук, В.И. Комарова. Ленинград: ВИР; 1984).
- Kovtun V.I., Samofalova N.E. Breeding of winter wheat in the south of Russia (Selektsiya ozimoy pshenitsy na yuge Rossii). Rostov-on-Don; 2006. [in Russian] (Ковтун В.И., Самофалова Н.Е. Селекция озимой пшеницы на юге России. Ростов-на-Дону; 2006).
- Kravchenko N.S., Ionova E.V., Podgornyy S.V., Vozhzhova N.N. The characteristics of winter soft wheat collection samples according to their adaptive properties of the trait "mass fraction of protein in kernels". *Grain Economy of Russia*. 2020;(1):43-48. [in Russian] (Кравченко Н.С., Ионова Е.В., Подгорный С.В., Вожжова Н.Н. Характеристика коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы по адаптивным свойствам признака «массовая доля белка в зерне». *Зерновое хозяйство России*. 2020;(1):43-48). DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-43-48
- Meleshkina E.P. Modern aspects of wheat grain quality. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;(3):4-7. [in Russian] (Мелешкина Е.П. Современные аспекты качества зерна пшеницы. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;(3):4-7).
- Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V., Filatenko A.A., Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Guidelines for the study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektzii pshenitsy, egilopsa i tritikale). A.F. Merezhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1997. [in Russian] (Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):545-554. [in Russian] (Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):545-554). DOI: 10.18699/VJ16.177
- Morris C.F., Paszczynska B., Bettge A.D., King G.E. A critical examination of the sodium dodecyl sulfate (SDS) sedimentation test for wheat meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007;87(4):607-615. DOI: 10.1002/jsfa.2740
- Nekrasov E.I., Marchenko D.M., Ivanisov M.M., Rybas I.A., Grichanikova T.A., Romanyukina I.V. et al. Estimation of productivity and grain quality of winter soft wheat varieties in the Rostov region. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019;4(20):79-85. [in Russian] (Некрасов Е.И., Марченко Д.М., Иванисов М.М., Рыбас И.А., Гричаникова Т.А., Романюкина И.В. и др. Оценка урожайности и качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Ростовской области. *Таврический вестник аграрной науки*. 2019;4(20):79-85). DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-79-85
- Pryanishnikov A.I. Problem of grain quality and its scientific decision. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;3(3):11-12. [in Russian] (Прянишников А.И. Проблема качества зерна и научные подходы ее решения. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;3(3):11-12).
- Pumpyansky A.Ya. Technological properties of bread wheats (Tekhnologicheskiye svoystva myagkikh pshenits). Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] (Пумпянский А.Я. Технологические свойства мягких пшениц. Ленинград: Колос; 1971).
- Okhremenko A.V., Gurskaya O.A. The quality of grain winter wheat accessions VIR collection on leached chernozem Central Caucasus. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2-2):825. [in Russian] (Охременко А.В., Гурская О.А. Показатели качества зерна сортообразцов озимой мягкой пшеницы коллекции ВИР на черноземе выщелоченном центрального Предкавказья. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2-2):825).
- Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmalyova M.S., Bugrova V.V. Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone of Russia: the history, methods and results. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(4):367-373. [in Russian] (Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалева М.С., Бугрова В.В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(4):367-373). DOI: 10.18699/VJ21.53-0
- Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S.G., Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F.C. et al. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019;1:e190005. DOI: 10.20900/cbagg20190005
- Vasilenko I.I., Komarov V.I. (comp.). Grain quality assessment: a reference book. Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Оценка качества зерна: справочник /

сост. И.И. Василенко, В.И. Комаров. Москва: Агропромиздат; 1987).

Vitale J., Adam B., Vitale P. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat. *Agronomy*. 2020;10(2):238. DOI: 10.3390/agronomy10020238

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).

### Информация об авторах

**Ирина Дмитриевна Фадеева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, fad-ir2540@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8453-5437>

**Ирина Юрьевна Игнатъева**, младший научный сотрудник, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», 420059 Россия, Казань, Оренбургский тракт, 48, Irina\_love\_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5537-8172>

**Анида Галиевна Хакимова**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

**Ольга Павловна Митрофанова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

### Information about the authors

**Irina D. Fadeeva**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of Kazan Scientific Center of the RAS, 48 Orenburgsky Trakt St., Kazan 420059, Russia, fad-ir2540@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8453-5437>

**Irina Yu. Ignatieva**, Associate Researcher, Tatar Research Institute of Agriculture, subdivision of Kazan Scientific Center of the RAS, 48 Orenburgsky Trakt St., Kazan 420059, Russia, Irina\_love\_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5537-8172>

**Anida G. Khakimova**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

**Olga P. Mitrofanova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

**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 14.09.2021; одобрена после рецензирования 16.12.2021; принята к публикации 28.02.2022.

The article was submitted 14.09.2021; approved after reviewing 16.12.2021; accepted for publication 28.02.2022.