

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.11:664.7

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-05



Результаты технологической оценки образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Омской области

М. В. Соловьева¹, И. А. Кибкало¹, Б. В. Зырянов², И. А. Белан², Н. С. Обухова¹, Е. В. Зуев¹¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия² Омский аграрный научный центр, Омск, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Мария Викторовна Соловьева, maria.soloveva.97@mail.ru

Актуальность. Селекция на повышения урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы остается основным направлением селекции для обеспечения продовольственной безопасности страны. В связи с этим необходим поиск новых источников для выполнения этих задач.

Материалы и методы. Объектом исследований были 180 сортов пшеницы мягкой яровой (*Triticum aestivum* L.). Образцы выращивали в 2022–2023 гг. в условиях Омской области. В лаборатории комплексной оценки генетических ресурсов растений ВИР оценили разнообразные признаки технологической оценки и качества зерна. Полученные данные подвергли дисперсионному и корреляционному анализам.

Результаты и заключение. В климатических условиях Омской области, когда во время вегетации, налива и созревания зерна яровой мягкой пшеницы периоды сильной засухи чередуются с избыточным увлажнением, наилучшей дифференцирующей способностью из характеристик качества белкового комплекса обладают некоторые показатели фаринографа и показатель седиментации, на которые и следует ориентироваться в селекции на качество зерна. При этом необходимо контролировать состояние углеводно-амилазного комплекса, как минимум фиксируя число падения, а также отслеживать другие технологические характеристики, например путем регистрации показателя натуры зерна. Выделены образцы, продемонстрировавшие по результатам двухлетних испытаний лучшие показатели по натуре зерна и седиментации. Их можно рекомендовать в качестве источников хозяйственно ценных признаков для селекции в условиях Омской области.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., оценка качества зерна, технологические свойства, седиментация

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Для цитирования: Соловьева М.В., Кибкало И.А., Зырянов Б.В., Белан И.А., Обухова Н.С., Зуев Е.В. Результаты технологической оценки образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Омской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(1):40-48. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-05

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o5

Technological assessment results for spring bread wheat accessions in Omsk Province

Maria V. Solovieva¹, Iliya A. Kibkalo¹, Boris V. Zyryanov², Igor A. Belan², Natalia S. Obukhova¹, Evgeny V. Zuev¹¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russia**Corresponding author:** Maria V. Solovieva, maria.soloveva.97@mail.ru

Background. Higher yields and better quality of spring bread wheat grain remains the main focus for wheat breeders in their efforts to ensure national food security. Therefore, searching for new sources to fulfill this mission is an important task.

Materials and methods. The research material included 180 accessions of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in 2022–2023 in Omsk Province. Various indicators for technological assessment and grain quality testing were analyzed at the VIR Laboratory of Integrated Plant Genetic Resources Evaluation. The resulting data underwent variance and correlation analyses.

Results and conclusion. Considering the climate in Omsk Province, where severe droughts alternate with excessive moisture periods during the growing season of spring bread wheat and the phases of grain filling and ripening, a number of farinograph indicators and the sedimentation index have the best differentiating ability among the protein complex quality characters, so they should be used in breeding for grain quality. It is also necessary to monitor the state of the carbohydrate-amylase complex, at least at the level of recording the falling number, as well as other technological properties, for example, though the registration of the grain test weight. Accessions with the best values of the grain test weight and sedimentation were identified. They can be recommended for breeders as sources of valuable agronomic traits in Omsk Province.

Keywords: *Triticum aestivum* L., grain quality assessment, technological properties, sedimentation

Acknowledgments: the work was performed within the framework of the state task according to the thematic plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0009 “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”.

For citation: Solovieva M.V., Kibkalo I.A., Zyryanov B.V., Belan I.A., Obukhova N.S., Zuev E.V. Technological assessment results for spring bread wheat accessions in Omsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(1):40-48. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o5

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

Введение

В России пшеница – основная продовольственная культура. В мировом земледелии пшеница занимает наибольшую площадь среди других зерновых культур. По данным ФАО, в 2022 г. мировая посевная площадь под пшеницей составила 242,7 млн га, валовый сбор – 946,2 млн т, при средней урожайности 34,5 ц/га. Первое место по площадям занимала Индия, 2-е – Россия, 3-е – Китай. По валовому производству пшеницы Россия на 3-м месте в мире (<http://www.fao.org/faostat/ru>).

По данным Росстата, в России в 2024 г. яровая пшеница высевалась на площади 12,3 млн га, собрано 29,0 млн т, средняя урожайность культуры – 21,4 ц/га. Также для яровой мягкой пшеницы наблюдали небольшое снижение всех показателей (<https://rosstat.gov.ru>).

Омская область вошла в двадцатку крупнейших регионов страны по посевным площадям пшеницы. Объем площадей, занятых пшеницей мягкой яровой в Омской области, в 2021 г. – 1,29 млн га, в 2022 г. – 1,19 млн га, в 2023 г. – 1,16 млн га, из них более 90% занимали сортовые посевы. Доля сортов селекции Омского аграрного научного центра (АНЦ) достигла 60–70% от общих посевов пшеницы мягкой яровой (<https://ab-centre.ru>).

Из 33 сортов яровой мягкой пшеницы селекции Омского АНЦ, включенных в Реестр селекционных достижений РФ на 2024 г., сильными сортами являются 14, ценными – 14 (<https://gossortrf.ru/registry>).

В России приоритетным остается направление селекции, ориентированное на высокую урожайность, адаптивность и качество зерна (Zhuchenko, 2010). Возросшие потребности населения в высококачественных хлебобулочных изделиях, а также развитие хлебного экспорта страны определяют необходимость создания новых «сильных» и «ценных» сортов пшеницы (Malkanduev et al., 2022).

Для успешной реализации данных задач необходим комплексный подход к скринингу и оценке селекционного материала – поиск новых источников качества зерна среди разнообразных отечественных и зарубежных сортов. В современном производстве особое внимание уделяется идентификации сортов, способных обеспечить сырьевую базу для хлебопекарной и экспортной отраслей, что требует системного изучения показателей качества зерна и его технологических свойств в конкретных агроэкологических условиях выращивания.

Целью исследований являлось изучение качества зерна и его технологических свойств сортов пшеницы мяг-

кой яровой отечественной и зарубежной селекции, выращенных в условиях Омской области, для выявления источников качества зерна.

Материал, условия и методы

В исследовании изучались 180 образцов пшеницы мягкой яровой (*Triticum aestivum* L.) из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и генбанка IPK (Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Гатерслебен, Германия). По происхождению они распределялись следующим образом: Германия – 90, Россия – 88, Казахстан – 7, Нидерланды – 1. Российские пшеницы включают образцы из 24 регионов РФ. Особенно широко представлены Алтайский край, Омская и Новосибирская области.

Образцы выращивали в 2022 и 2023 г. на базе селекционного севооборота лаборатории Омского АНЦ в зоне южной лесостепи Омской области по полной селекционной схеме. Предшественник – пар. Осенью предшествующего года механическая обработка почвы проводилась многофункциональным культиватором «Степняк» на глубину 10–12 см. Весной для закрытия влаги применялось боронование БЗСС-1. Перед посевом проводилась культивация культиватором «Степняк» на глубину 6–8 см. Площадь делянки составила 1 м², повторность двукратная.

По метеорологическим условиям 2022 г. характеризовался как недостаточный по увлажнению (гидротермический коэффициент в мае – августе: ГТК = 1,00), однако он был очень контрастным как по декадам (от отсутствия осадков до избытка увлажнения, ГТК = 4,03), так и по месяцам (от сильной засухи в мае, ГТК = 0,45, до избыточного увлажнения в июле, ГТК = 1,90).

По метеорологическим условиям 2023 г. также характеризовался как недостаточный по увлажнению (ГТК мая – августа = 0,84), однако он был очень контрастным по декадам – от отсутствия осадков (I декада мая и II сентября) до избытка (III декада июня, 150,4% от средне-многолетней). В целом вегетационный период текущего года характеризовался как засушливый (по месяцам ГТК колебался 0,77 до 93) (рисунок).

Вегетационные периоды 2022 и 2023 г. характеризовались нестабильностью метеорологических условий с чередованием засухи и избытка влаги, при общем дефиците увлажнения в вегетационный период.

В лаборатории комплексной оценки генетических ресурсов растений ВИР провели оценку качества зерна

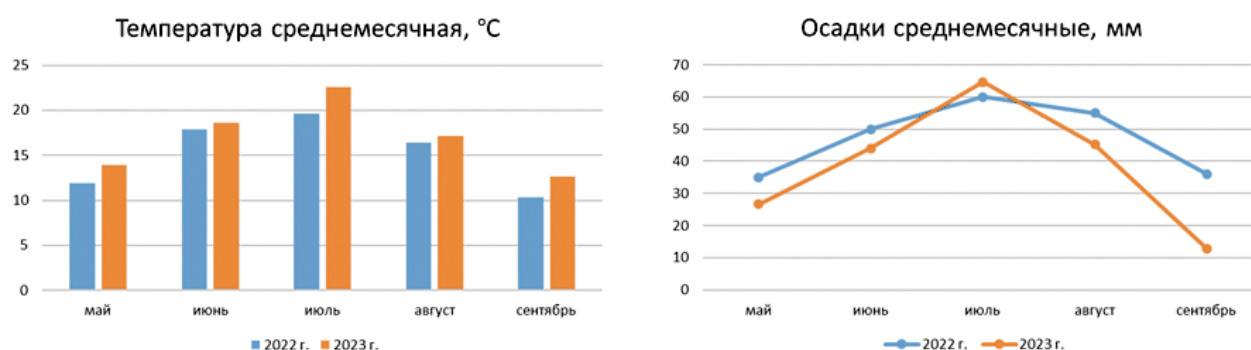


Рисунок. Графики среднемесячных температур воздуха и распределения осадков по месяцам в Омской области (2022–2023 гг.)

Figure. Graphs of mean monthly air temperatures and monthly precipitation distribution in Omsk Province (2022–2023)

и его технологических свойств. Определяли натуру зерна на микропурке (Vasilenko, Komarov, 1987), стекловидность на диафаноскопе (GOST 10987-76..., 2009), показатель SDS-седиментации (Bebiakin, Buntina, 1991). Также, с помощью инфракрасного анализатора IM 9500 (Perten), определяли содержание протеина, зольность и цвет (белизну) цельносмолотого зерна согласно инструкции к прибору. Проведена более углубленная оценка качества зерна образцов урожая 2022 г. Проведено фаринографирование (GOST ISO 5530-1-2013..., 2014) и амилографирование (GOST ISO 7973-2013..., 2014) на соответствующих приборах фирмы Brabender в микромодификации, определено число падения (ЧП) на приборе ПЧП 7 (GOST ISO 3093-2016..., 2016), количество и качество сырой клейковины (GOST R 54478-2011..., 2012) с помощью прибора ИДК-3М. Кроме этого, определяли содержание сухой клейковины, растяжимость и распыляемость сырой клейковины (Pumpyansky, 1971), распыляемость клейковины при высушивании. Полученные данные подвергли дисперсионному и корреляционному анализу.

Результаты и обсуждение

Результаты дисперсионного анализа показали, что все критерии качества зерна, изучавшиеся два года, существенно, по значимости F-критерия, дифференцировали экспериментальный материал (табл. 1). Однако выявились и существенные различия по выраженности признаков между годами. Таким образом, очевиден заметный вклад в изменчивость данных признаков как генотипа, так и условий года. Значимость вклада генотипа подчеркивает и величина коэффициентов генетической корреляции (r_a) (Gorlov et al., 2014), отражающих взаимосвязь выраженности одноименных признаков у сопредельных генераций. Как видно по этому критерию, наи-

большее влияние года испытывали показатели объема седиментационного осадка и полной стекловидности.

Результаты определения количества и качества клейковины зерна урожая 2022 г. представлены в таблице 2.

Полученные данные показали, что проанализированный материал обладал специфическими свойствами. Содержание сырой клейковины, как и содержание белка, оказалось очень высоким (0,88**) (см. табл. 1). Оно доходило до 70%, а среднее по опыту составило 54,7% при норме 28%. Такое положение дел не могло не отразиться на качестве клейковины, которое часто находится в антагонизме к ее количеству. Почти весь набор образцов оказался в 3-й группе качества по индексу деформации клейковины (ИДК) – неудовлетворительно слабая или в некоторых случаях на границе с этой группой. Клейковина в целом характеризовалась сильной растяжимостью и довольно сильной распыляемостью. Тем не менее в числовом выражении получена определенная дифференциация образцов. По коэффициенту вариации хорошо разграничивала материал только растяжимость клейковины, на среднем уровне – содержание сырой и сухой клейковины, ее распыляемость при высушивании, на низком уровне – гидратация, распыляемость сырой клейковины и показатель ИДК. Впрочем, для показателя ИДК это обычный уровень дифференциации в пределах одного опыта, за что он часто подвергается критике как селекционный признак (Kazartseva et al., 1983). Данные фаринографической оценки образцов мягкой пшеницы урожая 2022 г. представлены в таблице 3.

Несмотря на то что ни один из образцов в данном опыте не сформировал зерно, которое можно было бы отнести к сильным пшеницам (выше 80 единиц валориметра) (Krasnov et al., 2016), все показатели фаринографа, кроме ВПС, хорошо разграничивали экспериментальный материал, если судить по коэффициенту вариации. Данные реологических испытаний теста подтверди-

Таблица 1. Дифференцирующая способность показателей технологической оценки зерна на урожае 2022–2023 гг. (Омская область)

Table 1. Differentiating ability of technological assessment indicators for wheat grain harvested in 2022–2023 (Omsk Province)

Показатель	Пределы варьирования		Средняя по опыту		F-критерий, годы	F-критерий, сорта	НСР	r_a
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.				
Натура, г/л	601–810	580–807	736	717	83,3*	9,0*	37,1	0,80**
Стекловидность полная, %	0–61	0–16	5,4	1,3	74,1*	2,0*	8,86	0,59**
Стекловидность общая, %	24–80	22–56	44,3	41,8	35,1*	5,8*	7,7	0,72**
Объем осадка седиментации, мл	20–89	20–72	60,8	46,9	304,3*	3,4*	14,8	0,57**
Содержание протеина, %	14,3–25,0	16,6–26,7	19,4	22,0	713,3*	9,0*	1,75	0,80**
Зольность, %	1,60–2,88	1,51–3,00	2,17	2,20	4,9*	6,7*	0,26	0,75**
Цвет (белизна), %	59,4–83,3	70,6–85,0	77,9	81,2	137,7*	3,0*	5,1	0,69**

Примечание * – значимость F-критерия; ** – здесь и далее коэффициент корреляции значим на уровне 0,01%

Note: * – significance of the F test; ** – the correlation coefficient is hereinafter statistically significant at the 0.01% level

Таблица 2. Дифференцирующая способность показателей количества и качества клейковины
(урожай 2022 г., Омская область)**Table 2. Differentiating ability of gluten quantity and quality indicators**
(harvest of 2022, Omsk Province)

Показатели	Содержание сырой клейковины, %	ИДК, ед. пр.	Растяжимость, см	Содержание сухой клейковины, %	Гидратация, %	Расплавимость сырой клейковины, мм	Расплавимость клейковины при сушке, мм
Средняя по опыту	54,7	107,1	50,5	18,8	192,1	35,3	91,8
Стандартная ошибка	0,48	0,40	1,27	1,16	0,70	0,23	0,96
Амплитуда колебания	31,8	26,2	96,5	11,1	59	15	65
Пределы варьирования	38,4–70,2	94–120,2	23,5–120,0	13,6–24,7	156–215	27–42	65–130
Коэффициент вариации	11,5	4,8	32,2	11,9	4,36	8,61	13,5

Таблица 3. Дифференцирующая способность показателей фаринографирования
(урожай 2022 г., Омская область)**Table 3. Differentiating ability of farinograph indicators**
(harvest of 2022, Omsk Province)

Показатели	ВПС, %	ВОТ, мин	Стабильность теста, мин	Разжижение теста, ед. пр.	Число валориметра, ед. пр.
Средняя по опыту	69,5	3,1	1,5	99,3	46,8
Стандартная ошибка	0,2	0,1	0,1	2,9	0,7
Амплитуда колебания	14	5,2	5,4	213	43
Пределы варьирования	64–78	1,0–6,2	0,4–5,8	22–235	21–64
Коэффициент вариации	3,2	30,6	53,9	39,7	18,5

Примечание: ВПС – водопоглотительная способность; ВОТ – время образования теста

Note: ВПС is the water absorption capacity; ВОТ is the time of dough formation

ли невысокую оценку физических свойств клейковины. Наиболее высокую взаимосвязь они имели с показателем ИДК (0,49**–0,56**).

Состояние углеводно-амилазного комплекса зерна пшеницы обычно не зависит от свойств белкового комплекса, при этом оно является важной составляющей определения технологической ценности зерна (GOST R 51228-98..., 1999). Для быстрой обобщенной характеристики углеводно-амилазного комплекса используют показатель числа падения (ЧП), который также часто используют для обнаружения активности альфа-амилазы в зерне. Более углубленным способом изучения этого комплекса считается амилографирование. Изучению подвергли зерно урожая 2022 г. В процессе амилографирования регистрировали следующие показатели: время начала клейстеризации (А1); вязкость начала клейстеризации (А2); температура начала клейстеризации (А3); время наступления максимальной вязкости клейстера (А4); максимальная вязкость клейстера, или высота амилограммы (А5), температура максимальной вязкости клейстера (А6); вязкость клейстера на конец испытания (А7) (табл. 4).

На высоком уровне, по коэффициенту вариации, дифференцировали изучаемый материал следующие показатели состояния углеводно-амилазного комплекса: число падения (ЧП), максимальная вязкость клейстера (А5), вязкость клейстера в конце амилографического испытания (А7). По ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия» (GOST 9353-2016..., 2019) к 1–2-му классу может быть отнесено зерно мягкой пшеницы с ЧП не менее 200 с, к 3-му классу – не менее 150 с, к 4-му классу – не менее 80 с. В изученной выборке по ЧП к 3-му классу можно отнести 21 образец, к 4-му классу – 20 образцов и к 5-му классу – 21 образец. Остальные соответствовали 1–2-му классу и также значительно различались между собой. Как известно, на выраженность числа падения может влиять как активность альфа-амилазы, которую связывают с ростовыми процессами в зерне, так и технические свойства самого крахмала. Значительная дифференциация образцов по этому показателю с достаточно большим процентом образцов с самыми низкими значениями ЧП говорит о том, что складывающиеся условия во время созревания зерна были провокационными для активации альфа-амилазы. Действительно, почти вся вегетация со-

Таблица 4. Дифференцирующая способность показателей состояния углеводно-амилазного комплекса
(урожай 2022 г., Омская область)**Table 4. Differentiating ability of indicators for the state of the carbohydrate-amylase complex**
(harvest of 2022, Omsk Province)

Показатели*	ЧП, с	A1, мин	A2, ед. пр.	A3, °C	A4, мин	A5, ед. пр.	A6, °C	A7, ед. пр.
Средняя по опыту	241,1	5,0	31,3	68,8	7,5	267,4	85,7	189,7
Стандартная ошибка	8,1	0,02	0,1	0,1	0,1	0,01	0,4	10,0
Амплитуда колебания	400	2,1	20	11,7	3,6	597	23,6	497
Пределы варьирования	60–460	4,1–6,2	21–41	64,5–76,2	5,0–8,6	36–633	68,8–92,4	10–507
Коэффициент вариации	44,4	4,9	4,6	2,6	11,2	50,4	6,3	69,5

Примечание: * – расшифровка показателей представлена в тексте

Note: * – the indicators are interpreted in the text

проводилась чередованием острых засух с избыточными осадками выше нормы, что могло привести к формированию высокобелкового зерна и спровоцировать ростовые процессы в зерне у генотипов, неустойчивых к прорастанию на корню.

Таким образом, выделились и генотипы, которые могут рассматриваться как источники устойчивости к данному процессу. Обращает на себя внимание, что из 62 генотипов, сформировавших зерно с ЧП ниже 2-го класса, 53 оказались сортами зарубежной селекции, что говорит об их низкой адаптивности к подобным местным условиям. С данными ЧП в основном согласуются результаты амилографической оценки. Так, с данными заключительной фазы амилографирования – температура максимальной вязкости клейстера (A6), время максимальной вязкости (A4), максимальная вязкость (высота амилограммы, A5), вязкость в конце испытания (A7) – выявлена существенная сопряженность высокого уровня (0,73**–0,76**). С началом клейстеризации выявлена существенная средняя корреляция с содержанием белка в зерне: время начала клейстеризации (0,37**), температура начала клейстеризации (0,43**). Подобную картину мы уже отмечали ранее (Kibkalo et al., 2024) на примере овса. Связано это, видимо, с наступлением во время испытания температур, критических для денатурации белка. В основном же принято считать, что показатели амилографирования несут независимую от белкового комплекса информацию.

Так же в общей системе признаков с показателями завершающей стадии амилографирования зерна урожая 2022 г. оказалась связана натура зерна, причем в оба года испытаний на одинаковом уровне (0,52**–0,56**). Она также была связана и с числом падения (0,54**–0,58**). С натурой зерна подобным же образом коррелировала общая стекловидность (0,59**–0,69**), белизна муки (0,41**–0,65**), отрицательная взаимосвязь обнаружена с зольностью (–0,63**...–0,75**). Все это укладывается в адекватную картину: хорошо выполненное зерно обладает высокой натурой, не истощено ростовыми процессами, отчего имеет высокие значения реологии клейстера и стекловидности, соотношение эндосперма и оболочки смещено в сторону эндосперма, отсюда повышенная белизна и пониженная зольность.

Показатель экспресс-оценки качества запасных белков зерна – величина осадка SDS-микроседиментации – оказался на среднем уровне связанным с данными ИДК

и фаринографа, что объяснимо с точки зрения проблем дифференциации материала в данном опыте у реологических показателей (слабая клейковина и низкое значение числа валориметра). Причем по размерности величины коэффициента корреляции при оценке сопредельной генерации урожая 2023 г. оказалась даже выше, что подчеркивает генетическую детерминированность данного признака и говорит о возможности использования его для селекционной оценки. Так, взаимосвязь объема седиментационного осадка с показателем ИДК, который имеет отрицательную выраженность, составила –0,36**...–0,41**, с временем образования теста – 0,34**–0,55**, с разжижением теста – –0,39**...–0,56**, с числом валориметра – 0,38**–0,58**.

По результатам двухлетних испытаний, натуру зерна на уровне 1–2-го класса (от 750 мг/л) показали 59 образцов, 57 из которых – отечественной селекции. Лучшими по признаку (более 780 мг/л) были сорта: 'Алтайская', 'Американка', 'Саксонка', 'Сибирка 1818', 'Цезиум 31', 'Алтайская 98', 'Кантегирская 89', 'Новосибирская 67', 'Новосибирская 89', 'Омская 11', 'Саратовская 39', 'Сибирская 12', 'Сибирячка 4', 'Фора'. По объему седиментационного осадка (от 70 мл) по двухлетним данным выделились образцы: 'Алтайская', 'Альбидум 3700', 'Гальянка', 'Голоколоска', 'Сибирячка', 'Цезиум 31', 'Новосибирская 15', 'Саратовская 39', 'Сибирская 12', 'Целинная 20', 'Целинная 60', 'Perso'.

Полученные закономерности согласуются с опубликованными ранее наблюдениями по мягкой пшенице: высокий протеин нередко сопровождается снижением показателей качества клейковины и валориметра, что отражает известный компромисс «количество ↔ качество» глютеиновых белков (Payne et al., 1987; Shewry, Halford, 2002); число падения и амилографические параметры (A5, A7) чутко реагируют на чередование засушливых и переувлажненных периодов в фазу налива, выступая индикаторами склонности к предуборочному прорастанию и/или LMA (Mares, Mrva, 2014); натура зерна положительно сопряжена с общей стекловидностью и «белизной» муки и отрицательно – с зольностью, что указывает на лучшее выполнение эндосперма у образцов с высокими технологическими свойствами (Dowell et al., 2006; Newberry et al., 2018). На этом фоне диапазон варьирования и коэффициенты вариации наших показателей (особенно для ЧП, A5, A7 и числа валориметра) сопоставимы или превышают опубликованные диапазоны

для северо-восточных зон возделывания, что объясняется более контрастным гидротермическим режимом в годы испытаний и широкой географией происхождения материала (Fairlie et al., 2024). Таким образом, наши результаты не только подтверждают общие тренды, но и расширяют эмпирическую базу для континентально-аридных условий Омской области, где сочетание «жесткого» белкового профиля с устойчивостью углеводно-амилазного комплекса определяет пригодность зерна для хлебопечения и экспорта.

Заключение

В климатических условиях Омской области, когда во время вегетации, налива и созревания зерна яровой мягкой пшеницы периоды сильной засухи чередуются с избыточным увлажнением, наилучшей дифференцирующей способностью из характеристик качества белкового комплекса обладают некоторые показатели фаринографа и показатель седиментации, на которые и следует ориентироваться в селекции на качество зерна. При этом необходимо контролировать состояние углеводно-амилазного комплекса, хотя бы на уровне регистрации числа падения, а также другие технологические свойства, по крайней мере на уровне регистрации натурности зерна.

В качестве практического результата двухлетних испытаний выделены источники технологических признаков для условий Омской области. По натуре зерна на уровне 1–2-го класса (≥ 750 г/л) стабильно выделились 59 образцов (преимущественно отечественной селекции), среди которых: 'Алтайская', 'Американка', 'Саксонка', 'Сибирка 1818', 'Цезиум 31', 'Алтайская 98', 'Кантегирская 89', 'Новосибирская 67', 'Новосибирская 89', 'Омская 11', 'Саратовская 39', 'Сибирская 12', 'Сибирячка 4', 'Фора'; по SDS-седиментации (≥ 70 мл) – 'Алтайская', 'Альбидум 3700', 'Гальянка', 'Голоколоска', 'Сибирячка', 'Цезиум 31', 'Новосибирская 15', 'Саратовская 39', 'Сибирская 12', 'Целинная 20', 'Целинная 60', 'Perso'. Дополнительно, по числу падения в стрессовых погодных условиях, отмечены образцы, сохраняющие высокие значения ЧП и высокую вязкость клейстера (A5, A7), что указывает на устойчивость к предуборочному прорастанию и пригодность для хлебопекарных целей. Учитывая выявленные эффекты «генотип $\times$ год», рекомендуем использовать перечисленные генотипы как источники признаков в скрещиваниях для конструирования сортов с сочетанием высокой натурности, благоприятных реологических характеристик и стабильности углеводно-амилазного комплекса.

References / Литература

AB-Center. Agribusiness Expert and Analytical Center: [website]. [in Russian] (АБ-Центр. Экспертно-аналитический центр агробизнеса: [сайт]). URL: <https://ab-centre.ru> [дата обращения: 26.02.2025].

Bebiakin V.M., Buntina M.V. The effectiveness of assessing the grain of spring bread wheat by the SDS test (Effektivnost otsenki zerna yarovoy myagkoy pshenitsy po SDS-testu). *Agrarian Science*. 1991;(1):66-70. [in Russian] (Бебякин В.М., Бунтина М.В. Эффективность оценки зерна яровой мягкой пшеницы по SDS-тесту. *Аграрная наука*. 1991;(1):66-70).

Catalogue of breeding achievements: [website]. [in Russian] (Каталог селекционных достижений: [сайт]).

URL: <https://gossortrf.ru/registry> [дата обращения: 30.01.2025].

Dowell F.E., Maghirang E.B., Xie F., Lookhart G.L., Pierce R.O., Seabourn B.W. et al. Predicting wheat quality characteristics and functionality using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*. 2006;83(5):529-536. DOI: 10.1094/CC-83-0529

Fairlie W., Hughes D., Cullis B., Edwards J., Kuchel H. Genotype-by-environment interaction for wheat falling number performance due to late maturity α -amylase. *Crop Science*. 2024;64(6):3202-3218. DOI: 10.1002/csc2.21348

Federal State Statistics Service (Rosstat): [website]. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики (Росстат): [сайт]). URL: <https://rosstat.gov.ru> [дата обращения: 19.03.2025].

Food and Agriculture Organization of the United Nations: [website]. [in Russian] (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН: [сайт]). URL: <http://www.fao.org/faostat/ru> [дата обращения: 02.11.2024].

Gorlov A.A., Gorlova N.A., Gorlov A.I. New in the methodology of determining genetic correlations (Novoye v metodike opredeleniya geneticheskikh korrelyatsiy). *Young Scientist*. 2014;7(66):201-203. [in Russian] (Горлов А.А., Горлова Н.А., Горлов А.И. Новое в методике определения генетических корреляций. *Молодой ученый*. 2014;7(66):201-203).

GOST 10987-76. Interstate standard. Grain. Methods for determination of vitreousness. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10987-76. Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения стекловидности. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024313> [дата обращения: 19.03.2025].

GOST 9353-2016. Interstate standard. Wheat. Specifications. Official edition. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 9353-2016. Межгосударственный стандарт. Пшеница. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/62924> [дата обращения: 19.03.2025].

GOST ISO 3093-2016. Interstate standard. Wheat, rye and their flours, durum wheat and durum wheat semolina – Determination of the falling number according to Hagberg-Perten IDT. Moscow: Standartinform; 2016. [in Russian] (ГОСТ ISO 3093-2016. Межгосударственный стандарт. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга – Пертена. Москва: Стандартинформ; 2016). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293751/4293751055.pdf> [дата обращения: 19.03.2025].

GOST ISO 5530-1-2013. Interstate standard. Wheat flour. Physical characteristics of the dough. Part 1. Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ ISO 5530-1-2013. Межгосударственный стандарт. Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293781/4293781265.pdf> [дата обращения: 19.03.2025].

GOST ISO 7973-2013. Interstate standard. Grain and cereal products. Determination of the viscosity using an amylograph. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ ISO 7973-2013. Межгосударственный стандарт. Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа. Москва: Стандартинформ; 2014). URL: <https://meganorm.ru/>

- Data2/1/4293772/4293772909.pdf [дата обращения: 19.03.2025].
- GOST R 51228-98 (ISO 3983-77). National standard of the Russian Federation. Grain and cereal products. Determination of alpha-amylase activity. Colorimetric method. Moscow: Gosstandart; 1999. [in Russian] (ГОСТ Р 51228-98 (ИСО 3983-77). Государственный стандарт Российской Федерации. Зерно и зерновые продукты. Колориметрический метод определения активности альфа-амилазы. Москва: Госстандарт; 1999). URL: <https://megainform.ru/Data/90/9079.pdf> [дата обращения: 19.03.2025].
- GOST R 54478-2011. National standard of the Russian Federation. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standartinform; 2012. [in Russian] (ГОСТ Р 54478-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Москва: Стандартинформ; 2012). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200087804> [дата обращения: 19.03.2025].
- Kazartseva A.T., Vorobyeva R.A., Borodulina N.V. The degree of conformity of the readings of the IDK-1 device with the true grain quality (Stepen sootvetstviya pokazaniy pribora IDK-1 istinnomu kachestvu zerna). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1983;(4):19-20. [in Russian] (Казарцева А.Т., Воробьева Р.А., Бородулина Н.В. Степень соответствия показаний прибора ИДК-1 истинному качеству зерна. *Селекция и семеноводство*. 1983;(4):19-20).
- Kibkalo I.A., Loskutov I.G., Voitsutskaya N.P., Solovyova M.V., Obukhova N.S., Blinova E.V. Development of methodological approaches to assessing the technological properties of oat grain. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(2):6-15. [in Russian] (Кибкало И.А., Лоскутов И.Г., Войцукская Н.П., Соловьева М.В., Обухова Н.С., Блинова Е.В. Разработка методических подходов к оценке технологических свойств зерна овса. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(2):6-15). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-02
- Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Kravchenko N.S. Biochemical characteristics of grain and biotechnology of reception of products of its processing. *Modern Technics and Technologies*. 2016;10(62):86-98. [in Russian] (Краснов И.Н., Кравченко И.А., Кравченко Н.С. Биохимические характеристики зерна и биотехнология получения продуктов его переработки. *Современная техника и технологии*. 2016;10(62):86-98).
- Malkanduev Kh.A., Shamurzaev R.I., Malkandueva A.Kh. The concept and requirements for quality wheat grains. *News of the Kabardin-Balkar Scientific Center of RAS*. 2022;6(110):203-216. [in Russian] (Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Понятие и требования к качеству зерна пшеницы. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2022;6(110):203-216). DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216
- Mares D.J., Mrva K. Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase. *Planta*. 2014;240(6):1167-1178. DOI: 10.1007/s00425-014-2172-5
- Newberry M., Zwart A.B., Whan A., Mieog J.C., Sun M., Leyne E. et al. Does late maturity alpha-amylase impact wheat baking quality? *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1356. DOI: 10.3389/fpls.2018.01356
- Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F., Holt L.M. The relationship between HMW glutenin subunit composition and bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1987;40(1):51-65. DOI: 10.1002/jsfa.2740400108
- Pumpyansky A.Ya. Technological properties of bread wheats (Tekhnologicheskiye svoystva myagkikh psheynits). Leningrad: Kolos; 1971. [in Russian] (Пумпянский А.Я. Технологические свойства мягких пшениц. Ленинград: Колос; 1971).
- Shewry P.R., Halford N.G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*. 2002;53(370):947-958. DOI: 10.1093/jexbot/53.370.947
- 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).
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants as an independent scientific discipline. Theory and practice (Ekologicheskaya genetika kulturnykh rasteniy kak samostoyatel'naya distsiplina. Teoriya i praktika). Krasnodar: Prosveshchenie-Yug; 2010. [in Russian] (Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика. Краснодар: Просвещение-Юг; 2010).

Информация об авторах

Мария Викторовна Соловьева, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, maria.soloveva.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6904-4488>

Илья Анатольевич Кибкало, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Борис Васильевич Зырянов, младший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, boriska_zyryanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9268-4076>

Игорь Александрович Белан, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, belan_skg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Наталья Сергеевна Обухова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, natali0925@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1479-5997>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных 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, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Information about the authors

Maria V. Solovieva, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, maria.soloveva.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6904-4488>

Iliya A. Kibkalo, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Boris V. Zyryanov, Associate Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, boriska_zyryanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9268-4076>

Igor A. Belan, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, belan_skg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Natalia S. Obukhova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, natali0925@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1479-5997>

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

Вклад авторов: Соловьева М. В., Кибкало И. А., Зуев Е. В. – концепт; аналитика; написание и редактирование статьи. Соловьева М. В., Кибкало И. А., Обухова Н. С. – технологическая оценка; математическая обработка данных. Зырянов Б. В., Белан И. А. – получение растительного материала; предоставление метеоданных.

Contribution of the authors: Solovieva M. V., Kibkalo I. A., Zuev E. V. – concept; analysis; writing and editing of the article. Solovieva M. V., Kibkalo I. A., Obukhova N. S. – technological assessment; mathematical data processing. Zyryanov B. V., Belan I. A. – obtaining plant material; providing meteorological data.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 04.09.2025; одобрена после рецензирования 09.10.2025; принята к публикации 30.10.2025. The article was submitted on 04.09.2025; approved after reviewing on 09.10.2025; accepted for publication on 30.10.2025.