

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95-106>

УДК 633.11«324»: 664.641.11



Анализ реологических свойств сортов озимой мягкой пшеницы

© 2026. Я. О. Козелец¹✉, И. О. Шестопапов¹, О. В. Акиншина¹,
Г. И. Шестопапов¹, Д. В. Володин¹, Н. Н. Шестопапова²,
А. С. Бондаренко¹, А. В. Петренко¹, А. П. Ащеулова¹

¹ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр
Российской академии наук», г. Белгород, Российская Федерация,

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский
университет», г. Белгород, Российская Федерация

В работе представлено количественное измерение и вариабельность шести нетрадиционных показателей качества зерна 10 сортов озимой мягкой пшеницы урожая 2021-2022 гг., полученных в ходе испытаний с использованием теста в политермальном режиме протокола Chopin+ на приборе Миксолаб. Результаты исследования показали, что более низкие температуры и дефицит осадков в июле 2022 г. (44,0 мм при норме 69,0 мм) привели к достоверному ($p < 0,05$) увеличению средней вязкости теста до 5,9 балла против 4,2 балла в 2021 году, а также к существенному снижению амилолитической активности (с 4,4 до 1,0 балла) и уровня ретроградации крахмала (с 5,6 до 3,3 балла), что отражает прямую зависимость этих показателей от гидротермического режима в критический период налива зерна. Статистический анализ данных, проведенный методом дисперсионного анализа с использованием программы NIRSMAIN, позволил выявить различия в реологических свойствах теста в зависимости от сорта пшеницы и условий вегетации. Исследованы реологические свойства теста, такие как водопоглощательная способность (ВПС), стабильность теста при замесе, вязкость, активность амилазы и ретроградация крахмала. Показано, что отдельные сорта, такие как Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса, обладают высокими показателями ВПС и стабильности теста, что делает их перспективными для использования в качестве улучшителей в смесях с менее качественными сортами пшеницы. Особое внимание уделено оценке реологических свойств теста в различных температурных диапазонах, что позволяет выявить наилучшую пригодность сортов для конкретных этапов технологической обработки. Сорта Альмера и Ариадна демонстрируют высокую устойчивость к черствению благодаря значительным показателям ретроградации крахмала. Характеристики различных сортов пшеницы проявляются в их технологических свойствах. Заречная и Альмера обладают высоким индексом глютена. Данный факт указывает на улучшение таких параметров белковой структуры, как эластичность и стабильность. Олышанка проявляет низкий крутящий момент в точке C5, что свидетельствует о склонности к ускоренному черствению. Сорта Синтетик и Сирена показали низкие значения крутящего момента в точке C2, указывающие на потенциальные ограничения для достижения максимального объема хлеба. Полученные результаты позволяют рекомендовать сорта Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса в качестве эффективных улучшителей для смесей благодаря оптимальному сочетанию водопоглощения и стабильности теста, а Альмеру и Ариадну – как наиболее перспективные для производства продукции с пролонгированным сроком хранения.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., состояние и поведение теста, метеорологические условия, качество широта, Миксолаб

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук» (тема № FGNF-2022-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козелец Я. О., Шестопапов И. О., Акиншина О. В., Шестопапов Г. И., Володин Д. В., Шестопапова Н. Н., Бондаренко Л. С., Петренко А. В., Ащеулова А. П. Анализ реологических свойств сортов озимой мягкой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(1):95–106. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95-106>

Поступила: 02.06.2025

Принята к публикации: 28.01.2026

Опубликована онлайн: 27.02.2026

Analysis of rheological properties of common winter wheat cultivars

© 2026. Yana O. Kozelets¹✉, Igor O. Shestopalov¹, Olga V. Akinshina¹, Georgy I. Shestopalov¹, Dmitry V. Volodin¹, Natalia N. Shestopalova², Lyudmila S. Bondarenko¹, Alexander V. Petrenko¹, Anna P. Ashcheulova¹

¹Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, Belgorod, Russian Federation,

²Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

The paper presents the quantitative measurement and variability of six non-traditional grain quality indicators of 10 cultivars of common winter wheat harvested in 2021–2022, obtained during tests using the Chopin+ protocol in the polythermal mode on the Mixolab device. The results of the study showed that lower temperatures and a lack of precipitation in July 2022 (44.0 mm with a norm of 69.0 mm) led to a significant ($p < 0.05$) increase in the average viscosity of the dough to 5.9 points versus 4.2 points in 2021, as well as a significant decrease in amylolytic activity (from 4.4 to 1.0 points) and the level of starch retrogradation (from 5.6 to 3.3 points), which reflects the direct dependence of these indicators on the hydrothermal regime during the critical period of grain filling. Statistical analysis of the data using the NIRSMAN program and the method of variance analysis revealed differences in the rheological properties of the dough depending on the wheat cultivar and growing conditions. Rheological properties of the dough, such as water absorption capacity (WAC), dough stability during kneading, viscosity, amylase activity and starch retrogradation, were investigated. It has been shown that some cultivars, such as 'Sirena', 'Vezelka', 'Korochanka' and 'Larisa', have high indicators of water absorption capacity and dough stability, which makes them promising for use as improvers in mixtures with lower quality wheat cultivars. Particular attention is paid to the assessment of the rheological properties of the dough in different temperature ranges, which makes it possible to identify the best suitability of varieties for specific stages of technological processing. 'Almera' and 'Ariadna' cultivars demonstrate high resistance to staling due to significant starch retrogradation. The characteristics of different wheat cultivars are manifested in their technological properties. 'Zarechnaya' and 'Almera' have a high gluten index. This fact indicates an improvement in the protein structure's parameters, such as elasticity and stability. 'Olshanka' exhibits a low torque at C5, indicating a tendency towards accelerated hardening. The 'Sintetik' and 'Sirena' cultivars showed low torque values at C2 point, indicating potential limitations in achieving maximum bread volume. The obtained results make it possible to recommend the 'Sirena', 'Vezelka', 'Korochanka', and 'Larisa' cultivars as effective improvers for mixtures due to their optimal combination of water absorption and dough stability, and 'Almera' and 'Ariadna' as the most promising cultivars for the production of products with extended shelf life.

Keywords: *Triticum aestivum* L., dough condition and behavior; meteorological conditions, the quality of meal, Mixolab

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences (theme No. FGNF-2022-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Kozelets Y. O., Shestopalov I. O., Akinshina O. V., Shestopalov G. I., Volodin D. V., Shestopalova N. N., Bondarenko L. S., Petrenko A. V., Ascheulova A. P. Analysis of rheological properties of common winter wheat cultivars. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(1):95–106. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.1.95-106>

Received: 02.06.2025

Accepted for publication: 28.01.2026

Published online: 27.02.2026

Параметры качества зерна подвержены колебаниям, обусловленным целевым назначением продукта. Данная концепция акцентирует внимание на степени соответствия характеристик зерна предполагаемой сфере его использования. Качество зерна представляет собой комплекс взаимосвязанных технологических, биохимических, хлебопекарных и пищевых показателей, оказывающих непосредственное влияние на экономическую привлекательность конкретного сорта [1]. Следует отметить, что интегральная оценка качества не может быть сведена к единственному параметру; она формируется на основе множества факторов, детерминирующих физические, структурно-механические, мукомольные и хлебопекарные свойства [2, 3]. Зерно, прошедшее всестороннюю оценку с учетом вышеуказанных аспектов, дифферен-

цируется по ценовым категориям и областям применения, что свидетельствует о многогранности его качественных характеристик.

Важнейшими детерминантами качества зерна выступают генетические особенности сорта, агротехнические условия культивирования, погодноклиматические факторы периода вегетации, а также условия послеуборочной обработки и хранения [4]. Генетический потенциал сорта определяет базовый уровень содержания белка, крахмала и других компонентов, однако его реализация в значительной степени зависит от внешних условий. Агротехнические приемы, такие как внесение удобрений и применение средств защиты растений, существенно влияют на формирование качественных показателей зерна [5]. Погодные условия, особенно температура и влажность в период

налива зерна, оказывают прямое воздействие на его структуру и состав [6]. Высокие температуры могут приводить к снижению содержания крахмала и ухудшению хлебопекарных свойств, а избыточная влажность способствует развитию плесени и накоплению микотоксинов [7].

В условиях прогресса современной науки и лабораторного контроля качества первостепенное значение имеет анализ дисперсных систем, таких как шрот (продукт тонкого помола зерна), мука, суспензии и тесто. В процессе изучения акцент делается на индивидуальные характеристики компонентов зерновых и мучных изделий, включая крахмальные полисахариды, белковые соединения и ферментативные системы [8, 9]. Однако такие компоненты, как пищевые волокна (клетчатка), липидные соединения и другие минорные вещества, зачастую не подвергаются детальному изучению. Это связано с трудоёмкостью и длительностью методов анализа, необходимых для их идентификации и количественного определения, что требует значительных затрат химических реагентов и применения специализированного оборудования для проведения лабораторных исследований [10].

В хлебопекарной отрасли для всестороннего анализа тестовых образцов ключевое значение имеет отслеживание реологических параметров [11]. Данный мониторинг необходим, так как именно реологические характеристики, такие как текстура, объем и структура пористости хлеба и прочих мучных изделий, предопределяют качество конечного продукта. Несоответствие этих показателей оптимальным значениям может приводить к дефектам структуры, ухудшению вкусовых качеств и сокращению сроков хранения [12].

Для анализа реологических характеристик теста с целью определения качества зерна и муки в современной практике используется обширный спектр специализированных приборов, включая альвеографы, фаринографы, валориграфы, экстенсографы, миксографы, амилографы и другие [13]. Несмотря на это, существующие приборы оценивают реологические свойства теста лишь на стадии готовой мучной продукции, что ограничивает возможность анализа хлебопекарных качеств пшеницы на ранних этапах переработки зерна. Это подчеркивает актуальность изучения возможности прогнозирования хлебопекарных свойств пшеницы на основе реологических характеристик теста, измеряемых инструмен-

тальными методами непосредственно при приемке зерна на мукомольном предприятии. Подобный подход позволит оптимизировать процессы подготовки зерна к помолу и повысить качество конечной продукции.

В последние годы появились инновационные устройства, способные оценивать хлебопекарные характеристики не только муки, но и интактного зерна. Примером такого оборудования является прибор Миксолаб (производство компании Chopin, Франция), который предоставляет возможность комплексной оценки качества зерна и муки на различных этапах технологического процесса [14, 15].

Цель исследования – изучить реологические параметры образцов теста, произведенных из шрота сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», принимая во внимание погодные условия периодов вегетации.

Научная новизна – впервые проводится определение реологических свойств тестовых образцов, произведенных из шрота инновационных сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», районированных по Центрально-Черноземному региону (5-й регион). Устанавливается взаимосвязь между указанными реологическими характеристиками и метеорологическими показателями в период вегетации. Данный анализ дает возможность идентифицировать оптимальные условия культивирования рассматриваемых сортов с целью улучшения качественных показателей сырья и повышения эффективности процессов переработки зерна.

Материалы и методы. Объектом исследования служил шрот мягкой озимой пшеницы сортов Альмера, Ариадна, Богданка, Везёлка, Синтетик, Корочанка, Сирена, Заречная, Лариса и Ольшанка урожая 2021 и 2022 гг.

Сорта возделывали в полевых условиях. Почвы – типичные среднесуглинистые малогумусные тяжелосуглинистые черноземы на лессовидном суглинке с содержанием гумуса 4,7–5,6 %, подвижного фосфора и обменного калия – 67–78 и 88–112 мг/кг почвы соответственно; $pH_{\text{сол.}}$ – 5,8–6,3. Осенью под предпосевную обработку вносили по 200 кг/га азофоски, весной – аммиачную селитру в подкормку 250 кг/га. Данные по температурному режиму и влагообеспеченности получены на метеорологической станции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», находящейся непосредственно на территории селекционных участков.

Определение реологических характеристик проводили с применением анализатора Миксолаб производства компании Chopin Technologies (Франция). В рамках исследования цельнозернолотого зерна мягкой озимой пшеницы применяли протокол Chopin Wheat+, предусматривающий пятиступенчатый температурный режим для проведения анализа. Крутящий момент, измеренный в определенных точках графика, может быть интерпретирован как результат взаимодействия различных биохимических факторов. Для статистической обработки данных методом дисперсионного анализа использовали программу NIRSMAIN.

Результаты и их обсуждение. Обще-признано, что объем выпадающих атмосферных

осадков в фазы формирования, налива и созревания зерна оказывает определяющее воздействие на его качественные характеристики. В связи с этим систематический мониторинг реакции различных сортов зерновых культур на флуктуации метеорологических условий в течение вегетационного периода представляется критически важным [16]. Данный мониторинг позволяет оценить адаптивность сортов к изменяющимся условиям окружающей среды и выявить наиболее устойчивые генотипы [17]. Оценка влияния влагообеспеченности на качество зерна включает анализ таких показателей, как содержание белка, крахмала, клейковины и натуру зерна [18]. Погодные условия в течение вегетационного периода исследований мягкой озимой пшеницы варьировали по годам (рис. 1 и 2).

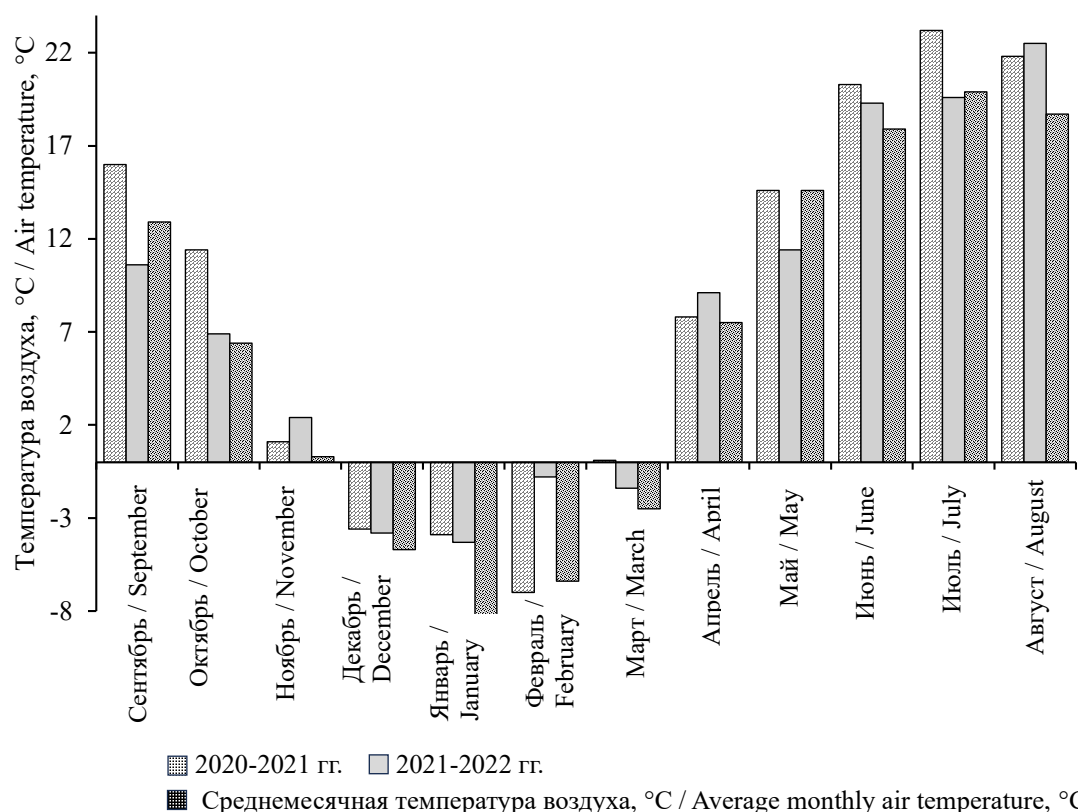


Рис. 1. Температурный режим в период вегетации озимой мягкой пшеницы за 2020–2022 гг. / Fig. 1. Temperature conditions during the growing season of winter soft wheat in 2020–2022

В весенний период 2021 г. температура во время вегетации мягкой озимой пшеницы показала незначительное превышение оптимальных значений: в апреле на 0,3 °C, а в мае температура соответствовала норме. Отмечается, что в марте наблюдалась аномально теплая погода, превышающая средние многолетние

значения на 2,6 °C. Примечательно, что летний период 2021 г. (июнь – август) также характеризовался превышением климатических норм температуры. В частности, среднемесячные температуры в июне и июле отклонялись от средних многолетних значений в большую сторону на 2,4 и 3,3 °C соответственно.

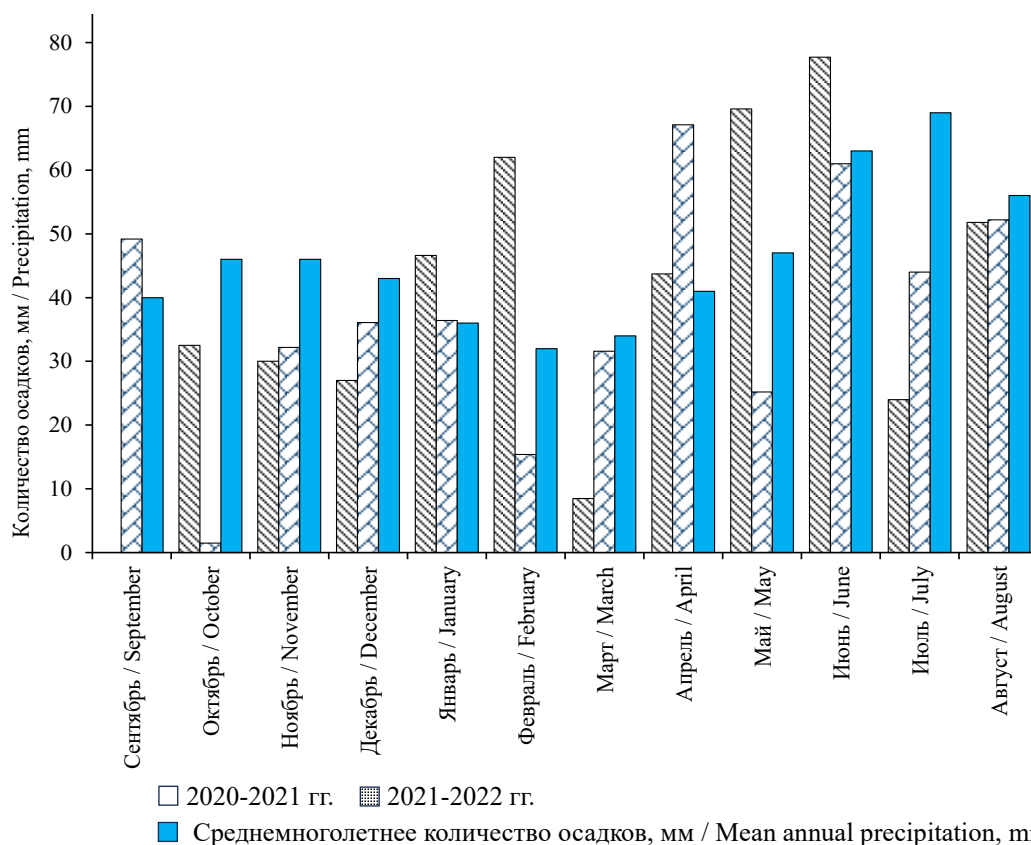


Рис. 2. Влагообеспеченность мягкой озимой пшеницы в период вегетации за 2020–2022 гг. /
Fig. 2. Moisture supply of common winter wheat during the growing season of 2020–2022

При анализе уровня осадков за 2020–2021 гг. можно выделить некоторые ключевые моменты. Выяснено, что дожди в тёплый сезон (июнь и июль) значительно влияют на качество. В мае 2021 г. наблюдались аномально высокие показатели атмосферных осадков, зафиксированные на уровне 69,6 мм. Данное значение превышает среднюю многолетнюю норму для указанного месяца в 1,5 раза. В отличие от майских показателей, объем выпавших осадков в июне 2021 г. демонстрировал значения, сопоставимые со среднестатистическими данными за многолетний период наблюдений. Однако ситуация в июле отличалась: за месяц выпало лишь 24,0 мм осадков, что составляет всего одну треть от ожидаемой нормы. Это может свидетельствовать о возможных изменениях в климатических условиях и воздействии на экосистему региона.

Осень 2021 г. была неоднозначной. В сентябре наблюдали температуру ниже средних многолетних значений, при этом осадки составили 49,2 мм, что на 9,2 мм больше нормы. Октябрь выдался сухим (1,5 мм осадков), а температура не достигла среднегодового

уровня. В весенний период 2022 г. отмечены отличия в температурном режиме и осадках от среднemesячных значений. В марте температура понизилась, осадки оставались на уровне средних, что задерживало начало весенней вегетации. Апрель 2022 г. продемонстрировал превышение норм по осадкам и температуре: выпало 67,1 мм при температуре +9,1 °С. Погодные условия мая характеризовались аномально низкими температурами и дефицитом осадков, объем которых составил 25,2 мм при среднем многолетнем значении 47,0 мм. Летний сезон характеризовался пониженными температурными показателями относительно климатической нормы. За исключением эпизодического выпадения 30 мм осадков 12 июня, среднесуточные температуры не превышали отметку +26 °С. Данный температурный режим благоприятно сказался на вегетации озимых культур. Однако в июле отмечен значительный дефицит влаги, общее количество выпавших осадков составило 44,0 мм при среднем многолетнем значении 69,0 мм. Полученные результаты указывают на отклонения от климатической нормы, что потенциально может

оказать влияние на агрономические показатели и урожайность сельскохозяйственных культур.

Данные, зафиксированные при анализе на приборе Миксолаб, визуализируются в виде профиля, который представляет собой шести-осевую диаграмму, в которой каждая ось соот-

носится с определенным параметром качественных свойств. Численные значения для каждой точки кривой оценивали в пределах от 0 до 9 единиц [19]. Сравнительные данные исследуемых образцов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Средние показатели реологических свойств шрота сортов мягкой озимой пшеницы, балл (n = 10) / Table 1 – Average values of meal rheological properties of common winter wheat cultivars, points (n = 10)

Год / Year	Водопоглотительная способность / Water absorption capacity	Замес / Kneading	Глютен / Gluten	Вязкость / Viscosity	Амилаза / Amylase	Ретроградация / Retrogradation
2021	8,10±0,10	4,20±0,39	2,70±0,42	4,20±0,47	4,40±0,99	5,60±0,71
2022	8,10±0,10	3,50±0,27	3,50±0,31	5,90±0,48	1,00±0,15	3,30±0,52
t _{факт}	0	1,48	-1,53	-2,53*	3,39*	2,6*
НСП ₀₅ / LSD ₀₅	0,33	1,09	1,21	1,55	2,31	2,04

* Различия существенны при p>0,95 / *The differences are significant at p>0.95.

Анализ реологических свойств сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» позволяет классифицировать их по периоду формирования теста. Среди изучаемых образцов особое внимание заслуживают Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса.

Известно, что уровень увлажнения муки оказывает влияние на весь процесс выпечки, особенно на физико-механические свойства теста [20].

Качественные характеристики муки, такие как ее водопоглотительная способность, имеют прямое влияние на массу теста и итоговый результат выпечки. Чем выше данный показатель, тем лучше происходит процесс желатинизации, что способствует большему подъему теста во время выпекания и снижению сгущения крахмала. Значительные показатели данного индекса обуславливают возможность увеличения выхода теста при одновременном снижении расхода муки. Вариации между рассматриваемыми группами не демонстрировали статистической значимости и оставались в границах приемлемой ошибки опыта. Примечательно, что все анализируемые сорта продемонстрировали повышенные значения водопоглотительной способности (ВПС) на протяжении всего периода исследований.

Индекс «замес» отражает термическую устойчивость теста при температуре +30 °С. Его величина определяется поведением теста в процессе смешивания, в частности, его

стабильностью. Длительное время формирования теста в сочетании с высокой стабильностью свидетельствуют о его превосходном качестве. Увеличение индекса замеса коррелирует с повышением устойчивости теста к механическому воздействию во время замешивания. В 2021 г. наивысшие значения указанного параметра были зафиксированы у сортов: Сирена, Олыпанка, Везёлка и Ариадна, которые получили оценку 5 баллов.

При нагревании теста в диапазоне температур от +30 до +60 °С наблюдается процесс набухания крахмала, при этом молекулярная структура остается неизменной. Это приводит к снижению консистенции теста. Чем выше данный параметр, тем большей устойчивостью обладает белковая структура. В результате такое тесто становится более эластичным. В 2021 и 2022 гг. сорта Заречная и Альмера демонстрировали наивысшие значения индекса «глютен», находящиеся в диапазоне 4-5 баллов.

На протяжении периода исследований зафиксированы существенные колебания характеристик, ассоциирующихся с углеводным составом, а именно: вязкости, амилолитической активности и ретроградации крахмала. Данные различия могут быть обусловлены влиянием агроклиматических условий в разные годы, оказывающих воздействие на биохимические процессы в зерне. Примером выступают показатели высоких температур и влажности воздуха в период вегетации 2020-2021 гг., превышающие среднепогодные нормы.

Особое внимание стоит уделить сортам Ольшанка, Заречная и Сирена, которые продемонстрировали наименьшие результаты по указанным параметрам. Из всех сортов по показателю «ретроградация крахмала» (сопротивляемость черствению) наибольший индекс показал сорт Ариадна (8 баллов).

При температурном диапазоне от +30 до +60 °C протеолитические ферменты функцио-

нируют наиболее эффективно, что приводит к разложению клейковинных белков и уплотнению теста. Этот процесс отражается на показателе крутящего момента теста в точке C_2 (Н·м). Сорта Синтетик и Сирена в оба года исследования и Ольшанка в 2021 г. показали низкие результаты по этому параметру и обладали меньшим потенциалом для достижения высокого объёмного выхода хлеба (табл. 2).

Таблица 2 – Параметры крутящего момента в точках экстремума функции /
Table 2 – Torque parameters at the extremum points of the function

<i>C₀pm / Cultivar</i>	<i>C₂, Н·м</i>		<i>C₅, Н·м</i>	
	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>
Альмера / 'Almera'	0,44	0,47	2,81	1,89
Ариадна / 'Ariadna'	0,40	0,47	2,32	2,46
Богданка / 'Bogdanka'	0,44	0,50	2,44	1,41
Везёлка / 'Vezelka'	0,43	0,47	2,26	1,74
Синтетик / 'Syntetic'	0,37	0,42	2,14	1,57
Корочанка / 'Korochanka'	0,44	0,44	2,03	0,55
Сирена / 'Sirena'	0,42	0,42	1,32	1,44
Заречная / 'Zarechnaya'	0,35	0,37	1,82	0,80
Лариса / 'Larisa'	0,42	0,44	2,42	1,06
Ольшанка / 'Olshanka'	0,39	0,44	0,92	0,91
Среднее±ошибка средней / Mean±mean error	0,41±0,01	0,44±0,01	2,05±0,18	1,38±0,18
<i>t_{факт} / t_{факт}</i>	-2,23*		2,62*	
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,04		0,59	

Примечания: * Различия существенны при $p > 0,95$; C_2 – индекс «глютен»; C_5 – индекс «ретроградация» /
Notes: *The differences are significant at $p > 0,95$; C_2 – *gluten index*; C_5 – *retrograde index*

Тенденция к возврату крахмала в исходное состояние при снижении температуры отражается величиной крутящего момента, зафиксированного в точке C_5 . Этот параметр служит индикатором скорости очерствения хлебо-булочной продукции. Наивысшие значения крутящего момента C_5 были зарегистрированы у сортов Альмера (2021 г.) и Ариадна (2022 г.), что свидетельствует о замедленном процессе очерствения. Сорт Ольшанка продемонстрировал наименьшие значения крутящего момента C_5 как в 2021, так и в 2022 гг., что указывает на его подверженность быстрому очерствению.

При температурах от +90 °C и выше преобладают процессы гелеобразования, самопроизвольного распада веществ и превращения крах-

мала в желатинообразное состояние (табл. 3). Величины крутящего момента в точках C_3 , C_4 и C_5 отражают характеристики углеводно-амилазного комплекса исследуемой системы и изменения, происходящие в его рамках.

В процессе нагрева максимальный крутящий момент для C_3 в среднем за 2 года исследований достиг 1,81 Н·м. В 2021 г. этот предел зафиксирован у сорта Лариса, а в 2022 г. – у Ариадна и Альмера. Эти данные указывают на то, что у названных сортов наблюдается более высокая температура желатинизации крахмала, что связано с увеличенной вязкостью теста, следовательно, в процессе выпечки хлеба они будут формировать мелкопористую структуру мякиша.

Таблица 3 – Результаты оценки показателей качества шрота мягкой озимой пшеницы урожая 2021-2022 гг. / Table 3 – Results of the assessment of the quality indicators of the common winter wheat meal, yield of 2021-2022

Сорт / Cultivar	C ₃ , H·м		C ₄ , H·м		C ₅ , H·м	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Альмера / 'Almera'	1,85	2,00	1,73	1,18	2,81	1,89
Ариадна / 'Ariadna'	1,73	2,07	1,47	1,44	2,32	2,46
Богданка / 'Bogdanka'	1,80	1,89	1,69	0,81	2,44	1,41
Везёлка / 'Vezelka'	1,83	1,97	1,32	0,92	2,26	1,74
Синтетик / 'Syntetic'	1,76	1,89	1,41	0,98	2,14	1,57
Корочанка / 'Korochanka'	1,76	1,79	1,30	0,34	2,03	0,55
Сирена / 'Sirena'	1,72	1,80	0,76	0,90	1,32	1,44
Заречная / 'Zarechnaya'	1,60	1,66	1,32	0,56	1,82	0,80
Лариса / 'Larisa'	1,86	1,87	1,41	0,68	2,42	1,06
Ольшанка / 'Olshanka'	1,49	1,86	0,56	0,51	0,92	0,91
Среднее ± ошибка средней / Mean ± mean error	1,74±0,04	1,88±0,04	1,30±0,12	0,83±0,10	2,05±0,18	1,38±0,18
t _{факт} / t _{факт}	-2,69*		2,98*		2,62*	
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,12		0,36		0,59	

Примечания: * Различия существенны при p>0,95; C₃ – индекс «вязкость»; C₄ – индекс «амилаза»; C₅ – индекс «ретроградация» /

Notes: * The differences are significant at p>0.95; C₃ – index viscosity; C₄ – amylase index; C₅ – retrograde index

Активность амилолитических ферментов обычно достигает оптимума при температуре от +60 до +75 °С. В процессе гидролиза крахмала наблюдали изменение консистенции теста, что сопровождается снижением его вязкости (показатель C₄, табл. 3). Это явление было зафиксировано у всех исследованных сортов, однако не во всех образцах оно проявляется одинаково. Сортами с высокой амилолитической активностью являются Ариадна, Альмера и Богданка. Если значение C₄ для определенного сортообразца превышает C₃ в абсолютном выражении, это указывает на низкий уровень амилолитической активности, что свойственно таким зерновым культурам, как пшеница. Высокие показатели C₄ у сортов Альмера, Ариадна и Богданка свидетельствуют об их ограниченной ферментативной активности.

Следующий этап эксперимента включает охлаждение системы с +90 до +50 °С и измерение вязкости в течение 5 минут. В этот период происходит загустевание крахмала, что приводит к значительному увеличению вязкости теста. В данной стадии исследования мы зафиксировали показатель C₅. По этому критерию наиболее перспективными являются сорта

Ариадна, Альмера и Везёлка, исключение составляет Ольшанка.

Заключение. Проведенное исследование реологических свойств теста из шрота десяти сортов озимой мягкой пшеницы урожая 2021 и 2022 гг. позволило установить статистически значимое влияние метеорологических условий вегетации на формирование технологических качеств зерна. Рекордное количество осадков в мае 2021 г. (69,6 мм) и дефицит осадков в июле 2021 г. (24,0 мм) повлияли на реологические свойства озимой мягкой пшеницы.

Особенностью большинства исследованных сортов стало наличие высоких значений водопоглотительной способности (ВПС) в оба года изучения, что обеспечивает хороший подъем теста при выпечке хлеба. В частности, выделились сорта Корочанка (9 баллов в 2021 г.) и Синтетик (9 баллов в 2022 г.).

Отмечены существенные вариации между исследуемыми сортами по параметру замеса. Наиболее высокую стабильность теста при замешивании в 2021 г. показали сорта Альмера, Ариадна, Везёлка, Сирена и Ольшанка. Сорт Синтетик, напротив, продемонстрировал менее выраженные показатели по данному критерию в течение всего периода исследования.

Наибольшие значения индекса «глютен» показали сорта Заречная и Альмера как в 2021 г., так и в 2022 г. Это указывает на их эластичность и устойчивость белковой структуры.

Существенные вариации были зарегистрированы в характеристиках, определяемых углеводным составом, включая вязкость, активность амилаз и степень ретроградации крахмала. Были выявлены значительные расхождения между различными сортами пшеницы по параметру «вязкость». В 2022 г. сорта Альмера и Ариадна показали максимальные значения вязкости, в то время как Корочанка и Заречная характеризовались существенно более низкими показателями. Сорт Ольшанка в течение двух лет исследования демонстрировал низкую устойчивость к ретроградации крахмала, оцененную в 2 балла, что потенциально сокращает срок хранения хлебобулочной продукции, произведенной из данного сорта. В контраст, сорт Ариадна в тот же период показал максимальную устойчивость к ретроградации, соответствующую 8 баллам. Ключевыми для хлебопекарного использования стали параметры крутящего момента: высокие значения в точке C_5 у сортов Ариадна (2,46 Н·м в 2022 г.) и Альмера (2,81 Н·м в 2021 г.) указывают на их повышенную устойчивость к черствению, тогда как минимальные показатели C_5

у Ольшанки (0,91 и 0,92 Н·м в 2021 и 2022 гг.) сигнализируют о предрасположенности к ускоренной утрате органолептических характеристик. Низкие значения параметра крутящего момента, зафиксированные в точке C_2 у сортов Синтетик (0,37 и 0,42 Н·м, измерения 2021 и 2022 гг. соответственно) и Сирена (0,42 Н·м в оба года исследования), указывают на ограничение потенциала для достижения оптимального показателя объема хлеба. Низкий крутящий момент индекса «глютен» может сигнализировать о слабой структуре клейковины, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на объеме хлеба.

Исследование реологических характеристик сортов мягкой озимой пшеницы урожая 2021–2022 гг. выявило значительную вариативность значений индексов. Наиболее высокие показатели качества были отмечены у сортов Сирена, Везёлка, Корочанка и Лариса. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что вышеуказанные сорта мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» характеризуются повышенным качеством по сравнению с принятым стандартом (сорт Альмера). К сожалению, в период исследования сорта Альмера, Корочанка, Сирена, относящиеся к ценным пшеницам, имели низкое качество зерна.

Список литературы

1. Калабина Т. С., Елисеев С. Л., Яркова Н. Н. Урожайность, технологические показатели качества зерна и хлебопекарные свойства муки озимой пшеницы. Пермский аграрный вестник. 2020;(4(32)):41–49. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_41 EDN: AVXPDPF
2. Хмелева Е. В., Королев Д. Н., Мингалеева З. Ш., Маслов А. В. Оценка технологического достоинства для хлебопекарной отрасли нового сорта зерна пшеницы Синева. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2024;(1(84)):67–75. DOI: <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2023-84-1-67-75> EDN: KCHIQN
3. Хмелева Е. В., Кандроков Р. Х., Сидоренко В. С., Королев Д. Н., Хмелев И. А. Оценка мукомольных свойств перспективных сортов озимой пшеницы селекции ФНЦ зернобобовых и крупяных культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025;(2(54)):125–132. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-2-125-132> EDN: VZPSDC
4. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Ефимова А. Г., Пушкарева О. В. Селекция озимой пшеницы в условиях Зауралья. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2025;(3(76)):117–126. Режим доступа: <https://vestngau.elpub.ru/jour/article/view/2650> EDN: PPLUWU
5. Оганян Л. Р., Ерошенко Ф. В. Влияние агротехнических приемов на урожайность и качество зерна различных сортов озимой пшеницы. Сельскохозяйственный журнал. 2025;(4(18)):57–67. DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.4.18.2025> EDN: UZPOKO
6. Сухоруков А. А., Бугакова Н. Э. Адаптивный потенциал сортов пшеницы мягкой озимой по реологическим и хлебопекарным свойствам теста и качеству хлеба в Среднем Поволжье. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(10):28–32. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_28 EDN: UUOISA
7. Моисеенко А. Г., Мартиросян В. В., Тюрина О. Е., Костюченко М. Н. Повышение микробиологической безопасности мультизерновых хлебобулочных изделий. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023;(2-3(392)):18–24. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.3> EDN: ORUQQD
8. Крадецкая О. О., Чилимова И. В., Дашкевич С. М., Утебаев М. У., Каиржанов Е. К. Взаимосвязь цветовых различий муки и зерна с зольностью и силой муки различных сортов мягкой пшеницы. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2022;2-1(113):24–34. DOI: [https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2\(113\).951](https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2(113).951) EDN: MBVZSY

9. Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V. G., Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: the optimal determination conditions by ELISA. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):364–370. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370>
10. Никонорова Ю. Ю., Волкова А. В., Макушин А. Н. Исследование реологических свойств теста и хлеба из смеси муки пшеничной высшего сорта и сорговой муки. *Вестник КрасГАУ*. 2021;(4(169)):155–160. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160> EDN: KLZUDU
11. Hoang T. N., Kopecký M., Konvalina P. Winter wheat mixtures influence grain rheological and mixolab quality. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*. 2022;LIV(4):417–428. DOI: <https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-036>
12. Лящева С. В., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н., Сергеева А. И. Оценка параметров экологической адаптивности озимой мягкой пшеницы по индексам реологических свойств теста и урожайности. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024;(2(50)):102–109. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-2-102-109> EDN: RUPFUZ
13. Кравченко Н. С., Марченко Д. М., Некрасова О. А., Алты-Садых Ю. Н. Изучение реологических и физических свойств теста сортов озимой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*. 2021;(6):45–52. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-45-52> EDN: HFOOIQ
14. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Методы определения качества клейковины и оценки реологических свойств твердой пшеницы (обзор). *Достижения науки и техники АПК*. 2023;37(11):29–37. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_29 EDN: GHZBGD
15. Мелешкина Е. П., Коломиец С. Н., Жильцова Н. С., Бундина О. И. Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021;83(1):155–162. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162> EDN: AMNYBR
16. Коба В. П., Коренькова О. О. Погодные условия и динамика урожайности зерновых культур в Крыму. *Наука Юга России*. 2021;17(4):53–60. DOI: <https://doi.org/10.7868/S25000640210406> EDN: XUKJVK
17. Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Потенциал сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Центрального Черноземья. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021;(1(37)):105–111. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-105-111> EDN: ZLQXRB
18. Хрипунов А. И., Годунова Е. И., Тарадина Д. А., Община Е. Н. Формирование урожая и качества зерна озимой пшеницы по полупару в различных условиях увлажнения и питания. *Сельскохозяйственный журнал*. 2025;(1(18)):69–80. DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.1.18.2025> EDN: WVHRNY
19. Bartalné-Berceli M., Izsó E., Gergely S., Salgó A. Effects of special additives in wheat dough system measured by Mixolab technique. *Czech Journal of Food Sciences*. 2021;39(6):460–468. DOI: <https://doi.org/10.17221/228/2020-CJFS>
20. Нецветаев В. П. Роль наследственности и среды в формировании некоторых количественных признаков озимой мягкой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2025;(1):62–71. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82111820> EDN: SBUFXQ

References

1. Kalabina T. S., Eliseev S. L., Yarkova N. N. Yield capacity, technological parameters of grain quality and baking properties of winter wheat flour. *Permsky agrarny vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2020;(4(32)):41–49. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2020_32_41
2. Khmeleva E. V., Korolev D. N., Mingaleeva Z. Sh., Maslov A. V. Assessment of technological advantages for the bakery industry of a new grade of wheat grain Sineva. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnikh pishchevikh produktov*. 2024;(1(84)):67–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2023-84-1-67-75>
3. Khmeleva E. V., Kandrov R. Kh., Sidorenko V. S., Korolev D. N., Khmelev I. A. Evaluation of flour-milling properties of promising winter wheat varieties breeding by Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops. *Zernobobovye i krupyanie kulturi* = Legumes and Groat Crops. 2025;(2(54)):125–132. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-2-125-132>
4. Maltseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Y., Yefimova A. G., Pushkareva O. V. Breeding of winter wheat for the conditions of the Trans-Urals. *Vestnik NGAU (Novosibirsky gosudarstvenny agrarny universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2025;(3):117–126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2025-76-3-117-126>
5. Oganyan L. R., Eroshenko F. V. Effect of agricultural practices on the yield and grain quality of various winter wheat varieties. *Selskokhozyaystvenny zhurnal*. 2025;(4(18)):57–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.4.18.2025>
6. Sukhorukov A. A., Bugakova N. E. Adaptive potential of soft winter wheat varieties in terms of rheological and baking properties of dough and quality of bread in the Middle Volga region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(10):28–32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_28

7. Moiseenko A. G., Martirosyan V. V., Tyurina O. E., Kostyuchenko M. N. Improving the microbiological safety of multigrain bakery products. *Izvestiya visshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* = *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2023;(2-3(392)):18–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.3>
8. Kradetskaya O. O., Chilimova I. V., Dashkevich S. M., Utebaev M. U., Kairzhanov E. K. The relationship of the color differences of flour and grain with the ash content and flour strength of soft wheat various varieties. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* = *Herald of Science of S Seifullin Kazakh Agro Technical Research University*. 2022;2-1(113):24–34. (In Kazakhstan). DOI: [https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2\(113\).951](https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.2(113).951)
9. Marjanović-Balaban Ž., Cvjetković V. G., Grujić R. Gliadin proteins from wheat flour: the optimal determination conditions by ELISA. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):364–370. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-364-370>
10. Nikonorova Yu. Yu., Volkova A. V., Makushin A. N. Study rheologic properties of the test and bread made from a mixture of premium wheat flour and sorghum flour. *Vestnik KraSGAU* = *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;(4(169)):155–160. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160>
11. Hoang T. N., Kopecký M., Konvalina P. Winter wheat mixtures influence grain rheological and mixolab quality. *Journal of Applied Life Sciences and Environment*. 2022;LIV(4):417–428. DOI: <https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-036>
12. Lyashcheva S. V., Kulevatova T. B., Zlobina L. N., Sergeeva A. I. Assessment of the parameters of ecological adaptability of winter soft wheat according to the indices of rheological properties of the dough and yield. *Zernobobovye i krupyaniye kulturi* = *Legumes and Groat Crops*. 2024;(2(50)):102–109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-2-102-109>
13. Kravchenko N. S., Marchenko D. M., Nekrasova O. A., Alty-Sadykh Yu. N. The study of rheological and physical dough properties of the winter wheat varieties. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = *Grain Economy of Russia*. 2021;(6):45–52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-45-52>
14. Malchikov P. N., Myasnikova M. G. Methods for determining gluten quality and assessing the rheological properties of durum wheat (review). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2023;37(11):29–37. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_11_29
15. Meleshkina E. P., Kolomiets S. N., Zhiltsova N. S., Bundina O. I. Modern assessment of bakery properties of Russian wheat. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh technology* = *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021;83(1):155–162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162>
16. Koba V. P., Korenkova O. O. Weather conditions and dynamics of grain crops in Crimea. *Nauka Yuga Rossii* = *Science in the South Russia*. 2021;17(4):53–60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S25000640210406>
17. Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Potential of winter soft wheat varieties in the Central Chernozem region. *Zernobobovye i krupyaniye kulturi* = *Legumes and Groat Crops*. 2021;(1(37)):105–111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-105-111>
18. Khripunov A. I., Godunova E. I., Taradina D. A., Obshchiya E. N. Formation of the yield and grain quality of winter wheat in semifallow land in different conditions of moistening and nutrition. *Selskokhozyaystvennyy zhurnal*. 2025;(1(18)):69–80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/006.1.18.2025>
19. Bartalné-Berceli M., Izsó E., Gergely S., Salgó A. Effects of special additives in wheat dough system measured by Mixolab technique. *Czech Journal of Food Sciences*. 2021;39(6):460–468. DOI: <https://doi.org/10.17221/228/2020-CJFS>
20. Netsvetaev V. P. The role of heredity and environment in the formation of some quantitative traits in common wheat. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2025;(1):62–71. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82111820>

Сведения об авторах

✉ **Козелец Яна Олеговна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede2006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0742-316X>, e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru

Шестопалов Игорь Олегович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede2006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3796-4821>

Акиншина Ольга Владимировна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede2006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1284-606X>

Шестопалов Георгий Игоревич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9642-1535>

Володин Дмитрий Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7276-7060>

Шестопалова Наталья Николаевна, кандидат с.-х. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», ул. Победы, д. 85, г. Белгород, Российская Федерация, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1899-3536>

Бондаренко Людмила Сергеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7311-8679>

Петренко Александр Владимирович, научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3550-5498>

Ащеулова Анна Павловна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук», ул. Октябрьская, д. 58, г. Белгород, Российская Федерация, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0050-7625>

Information about the authors

✉ **Yana O. Kozelets**, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0742-316X>, e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru

Igor O. Shestopalov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3796-4821>

Olga V. Akinshina, PhD in Biological Science, researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1284-606X>

Georgy I. Shestopalov, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9642-1535>

Dmitry V. Volodin, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7276-7060>

Natalia N. Shestopalova, PhD in Agricultural Science, associate professor, Belgorod National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, Russian Federation, 308015, e-mail: Info@bsuedu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1899-3536>

Lyudmila S. Bondarenko, PhD in Biological Science, senior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7311-8679>

Alexander V. Petrenko, researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3550-5498>

Anna P. Ashcheulova, junior researcher, Belgorod Federal Agricultural Research Centre Russian Academy of Sciences, 58 Oktyabrskaya st., Belgorod, Russian Federation, 308001, e-mail: zemlede12006@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0050-7625>

✉ – Для контактов / Corresponding author