

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 385-396.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 385-396.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.11:577.17.049
doi: 10.33284/2658-3135-109-3-385

Результаты применения микроэлементов при возделывании яровой твердой пшеницы

**Антонина Александровна Новикова¹, Екатерина Юрьевна Подласова²,
Ишен Насанович Бесалиев³**

^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²katerina.pryakhina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2985-198X>

³orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1210-6350>

Аннотация. Исследование проведено с целью оценить эффективность комплексной системы агротехнических приемов, включающей предпосевную обработку семян суспензией высокодисперсных частиц меди (ВДЧ) кобальта и последующую листовую обработку вегетирующих растений суспензией ВДЧ меди, цинка и магния, на продуктивность и качественные характеристики зерна яровой твердой пшеницы (*Triticum durum L.*) сортов Целинница и Луч 25. В ходе полевых опытов, проведенных в 2023-2025 гг. на базе ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, зафиксирована статистически значимая прибавка урожайности зерна во всех вариантах с применением предпосевной обработки семян Со и последующей листовой обработки растений ВДЧ Cu, Zn и Mg по сравнению с контролем, составившая в среднем 0,34 т/га и достоверному увеличению массы 1000 зерен на 7,2 г для сорта Целинница (до 41,0 г) и на 6,5 г – для сорта Луч 25 (до 42,0 г). Наблюдалась выраженная положительная динамика качественных показателей зерна. Стекловидность возросла в среднем на 7,0 % у сорта Целинница (до 51,0 %) и на 8,0 % – у сорта Луч 25 (до 50,6 %). Исследование выявило заметное увеличение содержания сырой клейковины в зерне – ключевого показателя, ответственного за хлебопекарные свойства. У сорта Целинница этот показатель вырос на 8,1 %, составив 33,7 %, а у сорта Луч 25 – на 9,7 %, составив 32,3 %. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой агрономической и экономической целесообразности применяемой технологии, главная задача которой снизить потребность в обычных удобрениях и улучшить качество конечного продукта. Представленные данные являются вкладом в развитие ресурсосберегающих и экологически безопасных подходов к интенсивному земледелию, особенно в отношении яровой твердой пшеницы.

Ключевые слова: яровая пшеница, микроэлементы, кобальт, медь, цинк, магний, предпосевная обработка семян, урожайность, качество зерна

Благодарности: соответствующие результаты получены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2025-247).

Для цитирования: Новикова А.А., Подласова Е.Ю., Бесалиев И.Н. Результаты применения микроэлементов при возделывании яровой твердой пшеницы // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 385-396. [Novikova AA., Podlasova EYu, Besaliev IN. Results of micro-nutrients use in the cultivation of spring durum wheat. 2026;109(3):385-396. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-385>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Results of micronutrients use in the cultivation of spring durum wheat

Antonina A Novikova¹, Ekaterina Yu Podlasova², Ishen N Besaliev³

^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹tony-novikova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6947-9262>

²katerina.pryakhina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2985-198X>

³orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1210-6350>

Abstract. The study was conducted to evaluate the effectiveness of a comprehensive system of agrotechnical practices, which includes pre-sowing seed treatment with a suspension of highly dispersed (HDP) particles of copper, cobalt, followed by foliar treatment of vegetating plants with a suspension of HDP of copper, zinc, and magnesium, on the productivity quality characteristics of spring durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties Tselinnitsa and Luch 25. During field experiments conducted in 2023-2025 on the basis of the Federal State Budgetary Research Centre of the BST RAS, a statistically significant increase in grain yield was recorded in all variants using pre-sowing Co seed treatment and subsequent leaf treatment of plants with Cu, Zn and Mg compared with the control, averaging 0.34 t/ha and an increase in the weight of 1000 grains per 7.2 g for the Tselinnitsa variety (up to 41.0 g) and 6.5 g for the Luch 25 variety (up to 42.0 g). A pronounced positive trend in the quality indicators of the grain was observed. The grain hardness increased by an average of 7.0% in the Tselinnitsa variety (up to 51.0%) and by 8.0% in the Luch 25 variety (up to 50.6%). The study revealed a noticeable increase in the content of raw gluten in the grain – a key indicator responsible for the baking properties. For the Tselinnitsa variety, this indicator increased by 8.1%, reaching 33.7%, while for the Luch 25 variety it increased by 9.7%, reaching 32.3%. Thus, the obtained results indicate the high agronomic and economic feasibility of the applied technology, the main goal of which is to reduce the need for conventional fertilizers and improve the quality of the final product. The data presented contribute to the development of resource-saving and environmentally safe approaches to intensive farming, especially with regard to spring durum wheat.

Keywords: spring wheat, microelements, cobalt, copper, zinc, magnesium, pre-sowing seed treatment, yield, grain quality

Acknowledgements: the relevant results were obtained with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2025-247).

For citation: Novikova AA, Podlasova EYu, Besaliev IN. Results of micronutrients use in the cultivation of spring durum wheat. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(3):385-396. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-385>

Введение.

Яровая твердая пшеница (*Triticum durum* L.) – культура, имеющая стратегическое значение для продовольственной безопасности, но одновременно отличающаяся высокой чувствительностью урожайности и, что особенно важно, качественных характеристик зерна, включая содержание клейковины и степень стекловидности, к почвенно-климатическим факторам. Зависимость показателей от почвенно-климатических условий создает существенные препятствия для производителей, задача которых – создать стабильное обеспечение сырьем для производства качественной продукции, которое должно соответствовать высоким технологическим стандартам. Именно поэтому сегодня существует острая необходимость в создании и внедрении инновационных решений, гарантирующих стабильное формирование урожая и зерна высокого качества (Малыгин А.Е. и Захаров Г.М.,

2022; Ярцев Г.Ф. и др., 2026). Однако привычные стратегии в растениеводстве вроде применения пестицидов и минеральных удобрений, несмотря на временный эффект, несут в себе целый комплекс отрицательных последствий: риски загрязнения окружающей среды, попадание остаточных компонентов в пищевые продукты, и развитие у вредителей и сорняков устойчивости. Это подрывает эффективность самих агрохимических методов в долгосрочной перспективе. Нарастающие экологические проблемы и потребность в устойчивом сельском хозяйстве стимулируют активный поиск новых, более безопасных и экономически выгодных решений. В этом контексте все большее внимание исследователей привлекают биостимуляторы и микроудобрения, использование которых открывает перспективы для повышения продуктивности и улучшения качества сельскохозяйственных культур с минимальным воздействием на окружающую среду (Неверов А.А. и др., 2023).

Среди множества факторов, влияющих на продуктивность растений, особое место занимают микроэлементы. Эти химические элементы, необходимые для нормального роста и развития в малых количествах, играют критическую роль во многих метаболических процессах, включая фотосинтез, ферментативную активность и синтез белков. Современная агрономическая наука предлагает разнообразные формы внесения микроэлементов (Новикова А.А. и др., 2025б). Предпосевная обработка семян является эффективным методом, поскольку обеспечивает равномерное распределение питательных веществ и раннее их усвоение прорастающим растением, закладывая основу для дальнейшего успешного развития. Листовые подкормки, в свою очередь, представляют собой ценный инструмент для оперативной коррекции питания в наиболее уязвимые и критические периоды вегетации, когда корневая система может испытывать трудности с поглощением питательных веществ из почвы (Кодочилова Н.А. и др., 2023).

Совместное применение данных методов – предпосевной обработки и последующих листовых подкормок – создает синергетический эффект, позволяющий максимально эффективно обеспечить растения необходимыми микроэлементами на протяжении всего вегетационного периода. Такой комплексный подход позволяет не только увеличить количественные показатели урожая, но и значительно улучшить его качественные характеристики, что особенно важно для таких культур, как твердая пшеница, где качество зерна имеет первостепенное значение. Практическая значимость данного исследования заключается в обосновании эффективности и разработке практических рекомендаций по внедрению предложенной агротехнологии в производственные условия, способствуя тем самым повышению конкурентоспособности и устойчивости производства зерна твердой пшеницы.

Цель исследований.

Изучить влияние предпосевной обработки семян суспензией ВДЧ кобальта (Co) и последующей листовой обработки растений суспензией высокодисперсных частиц меди (Cu), цинка (Zn) и магния (Mg) на урожайность, стекловидность, массу 1000 зерен и содержание клейковины яровой твердой пшеницы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. Сорта яровой твердой пшеницы Целиница и Луч 25.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Преобладающий тип почвы участка – чернозем южный остаточно-луговой карбонатный малогумусный слабосмытый тяжелосуглинистый. Мощность гумусового горизонта 30-32 см. Содержание гумуса составляло 4,3 %, нитратного азота – 8,3 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора и калия – 24,0 и 388 мг/кг почвы соответственно, подвижных форм микроэлементов в почве (мг/кг почвы): Zn – 0,7; Mn – 9,0; Cu – 0,1; Co – 0,08; Mo – 0,10; B – 1,75. Кислотность почвы – слабощелочная (pH 7,7).

Агрометеорологические условия в период вегетации культуры отличались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков. Метеорологические условия в 2023 году

характеризовались выраженным дефицитом влаги. Майские температуры соответствовали норме, однако третьей декаде мая и началу июня была присуща аномальная жара. Во второй половине июня и первой декаде июля температура приблизилась к норме, но осадки были незначительными. Период налива зерна (вторая половина июля) ознаменовался снижением температуры и обильными осадками, что улучшило формирование зерна. Гидротермический коэффициент (ГТК) подтвердил острый дефицит влаги на протяжении всего вегетационного периода (май – 0,31, август – 0).

В 2024 году наблюдалась повышенная влажность и значительные температурные колебания. Майские температуры были ниже нормы с обильными осадками. Начало июня ознаменовалось аномальной жарой, сменившейся резким похолоданием в конце месяца и ливневыми осадками, многократно превысившими норму. Первая декада июля вновь была жаркой, затем температурный режим стабилизировался. Суммарное количество осадков за вегетационный период существенно превысило норму (204 мм против 128 мм) с избыточным увлажнением во всех учетных месяцах (ГТК: май – 0,74, июнь – 1,2, июль – 1,27, август – 1,17).

2025 год характеризовался повышенными температурами и неравномерным распределением осадков. Среднесуточная температура мая варьировала от +15 до +18,5 °С, с пиком в третьей декаде (+33 °С). Среднесуточная температура воздуха июня, июля и августа составила +20...+22 °С. Экстремальные значения температуры достигали в третьей декаде июня и июля (+39 °С), а также в первой декаде августа (+35 °С). Распределение осадков по декадам было неравномерным: май – 23 мм (первая декада), без осадков (вторая), 18 мм (третья). В июне наибольшее количество осадков (18 и 26 мм) пришлось на первую и третью декады, превысив норму на 12 и 13 мм. Июль: 18 мм (первая декада) и 15 мм (третья декада) при норме 13 мм. Август: 20 мм (первая декада), 25 мм (вторая декада), отсутствие осадков (третья декада).

Схема эксперимента. Исследования проводились на опытных полях Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Высокодисперсные частицы металлов были получены методом высокотемпературной конденсации на установке Миген-3 предоставлены ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе (г. Москва). Характеристики высокодисперсных частиц металлов, следующие:

- кобальт – гидродинамический диаметр 1330 нм, ζ -потенциал 18,9 мВ, кристаллическая металлическая фаза 95 %, оксидная фаза не менее 5 %;
- цинк – гидродинамический диаметр 570 нм, ζ -потенциал 31,7 мВ, фазовый состав Zn^0 100%;
- медь – гидродинамический диаметр 616 и 103,7 нм, ζ -потенциал 28,1 мВ, фазовый состав Cu^0 100%;
- магний – гидродинамический диаметр 222,5 нм, ζ -потенциал 18,6 мВ, фазовый состав Mg^0 100 %.

Для приготовления суспензий ВДЧ металлов точные навески кобальта концентрацией 10^{-6} %, меди 10^{-8} %, цинка 10^{-3} % и магния 10^{-6} % диспергировали в дистиллированной воде в режиме 3 раза по 30 секунд (0,5 А при частоте 44 кГц) с 30-секундным перерывом на ледяной бане. Готовые суспензии ВДЧ вводили в полимерную композицию с добавлением карбоксиметилцеллюлозы натрия, полиэтиленгликоля 400 и динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты и вновь диспергировали. Семена пшеницы перед посевом подвергали однократной предпосевной обработке суспензией ВДЧ Со методом дражирования. По вегетации проведена однократная листовая обработка растений в фазу выхода в трубку суспензией ВДЧ Cu, Zn, Mg. Норма расхода готового препарата составила 10 л/т для предпосевной обработки семян и 200 л/га – для листовой обработки растения по вегетации. Семена и растения контрольной группы обрабатывали дистиллированной водой. Опыт закладывали в трёхкратной повторности, расположение вариантов последовательное, учетная площадь делянки – 32 м², расположение вариантов – последовательное. Схема опыта включала изучение следующих вариантов: сорта яровой твердой пшеницы (фактор А) –

Целинница и Луч 25; обработка семян перед посевом и листовая обработка (фактор В) – без обработки (контроль), обработка микроэлементами кобальта, меди, магния и цинка. Агротехнические мероприятия выполняли по рекомендованным для центральной и восточной зон Оренбургской области технологии (Бесалиев И.Н. и др., 2022).

Оборудование и технические средства. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>), в том числе ультразвуковой дезинтегратор UP50H (Hielscher, Германия), ранцевого опрыскивателя (Greenworks, Китай), комбайн Сампо-130 (Sampo-Rosenlew Oy, Финляндия), диафаноскопа «Янтарь» (ЭКАН, Россия), весы аналитические (Госметр, Россия).

Статистическая обработка. Математическая обработка экспериментальные данные опыта осуществлялась с помощью дисперсионного анализа в изложении Доспехова Б.А. (2014) с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

По результатам исследований установлено, что комплексная система агротехнических приемов, включающая предпосевную обработку семян и последующую листовую обработку вегетирующих растений, оказывает положительное и статистически значимое влияние на урожайность и качественные показатели зерна яровой твердой пшеницы сортов Целинница и Луч 25 (табл. 1). Полевые опыты продемонстрировали стабильное увеличение урожайности зерна во всех вариантах с применением данной обработки по сравнению с контролем.

Таблица 1. Урожайность яровой твердой пшеницы за 2023-2025 гг., т/га

Table 1. Yield of spring durum wheat to 2023-2025, т/ha

Сорт/ <i>Variety</i>	Вариант обработки/ <i>Treatment option</i>	2023	2024	2025	Среднее/ <i>Average</i>	± к контролю, т/га / ± to control, т/ha
Целинница <i>/Tselinnitsa</i>	Без обработки (контроль) / <i>Without treatment (control)</i>	0,27	1,23	1,07	0,85	-
	Предпосевная обработка семян и листовая обработка растений / <i>Treatment with microelements</i>	0,48	1,68	1,41	1,19	+ 0,34
Луч 25 <i>/Luch 25</i>	Без обработки (контроль) / <i>Without treatment (control)</i>	0,26	1,20	1,15	0,87	-
	Предпосевная обработка семян и листовая обработка растений / <i>Treatment with microelements</i>	0,48	1,70	1,45	1,21	+ 0,34
НСР ₀₅ по фактору А / <i>NSD₀₅ for factor A</i>		0,06	0,12	0,10	0,09	
НСР ₀₅ по фактору В / <i>NSD₀₅ for factor B</i>		0,14	0,18	0,15	0,16	-
НСР ₀₅ по взаимодействию АВ / <i>NSD₀₅ for factor AB</i>		0,14	0,18	0,15	0,16	

В среднем за три года достоверная прибавка урожайности составила 0,34 т/га для обоих сортов, достигнув 1,19 т/га у сорта Целинница и 1,21 т/га – у сорта Луч 25 в варианте с комплексной обработкой.

Помимо прямого влияния на урожайность, изучаемые агротехнические приемы оказали достоверное влияние на качество зерна, в частности, на массу 1000 зерен, стекловидность и содержание клейковины (рис. 1-3).

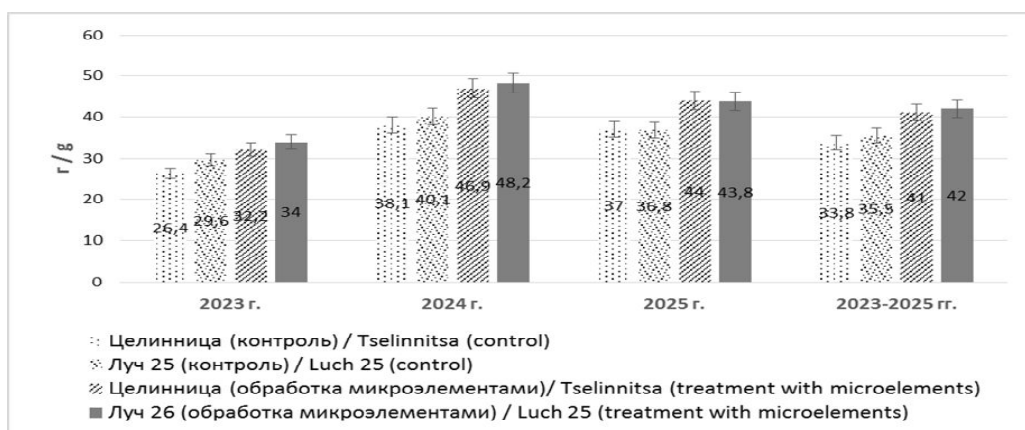


Рисунок 1. Масса 1000 зерен яровой твердой пшеницы, г
Figure 1. Weight of 1000 grains of spring durum wheat, g

Комплексная обработка способствовала увеличению относительно контроля этого показателя: у сорта Целинница масса 1000 зерен в среднем составила 41,0 г (прирост 7,2 г к контролю), а у сорта Луч – 25-42,0 г (прирост – 6,5 г к контролю).

Стекловидность зерна – ключевой продовольственный и технологический индикатор, прямо коррелирующим с содержанием в эндосперме белковых соединений, в частности, запасных белков (глутенинов и проламинов), определяющих хлебопекарные свойства муки. Применение комплексной обработки демонстрировало стабильное повышение данного показателя по всем вариантам опыта. В среднем за 2023-2025 гг., стекловидность зерна, анализируемая у сорта Целинница достигла 51,0 % в варианте с обработкой, что превышало контрольные значения на 7,0 %. Аналогичная положительная тенденция наблюдалась и у сорта Луч 25, где показатель стекловидности составил 50,6 %, что на 8,0 % выше, чем в контрольном варианте.

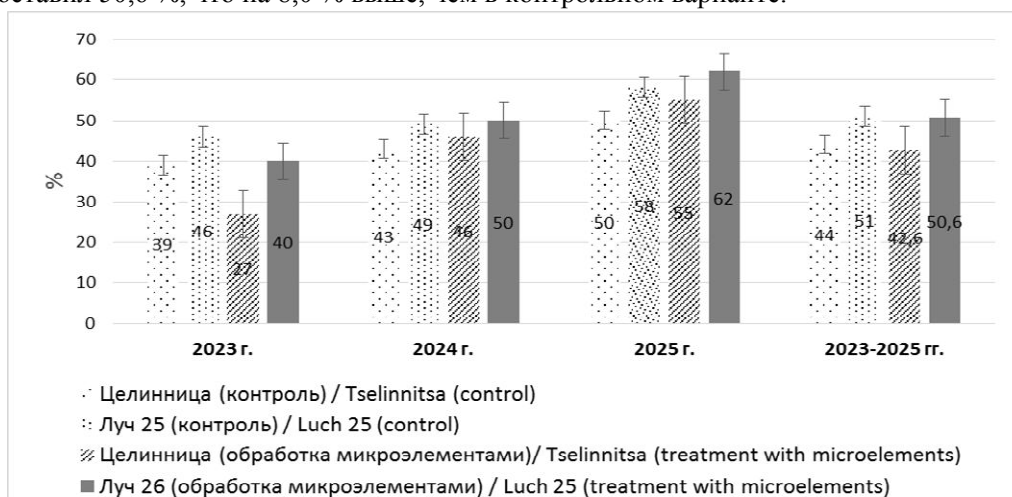


Рисунок 2. Стекловидность зерна яровой твердой пшеницы, %
Figure 2. Grain hardness of spring durum wheat grain, %

Содержание сырой клейковины, ключевой характеристики хлебопекарных качеств, продемонстрировало существенное увеличение показателя относительно контроля. При этом прибавка при внесении микроэлементов оказалась статистически незначимой на уровне 95 % вероятности и составила 33,7 % для сорта Целинницы (прирост – 8,1% к контролю) и 32,3 % – для сорта Луч 25 (прирост – 9,7 % к контролю).

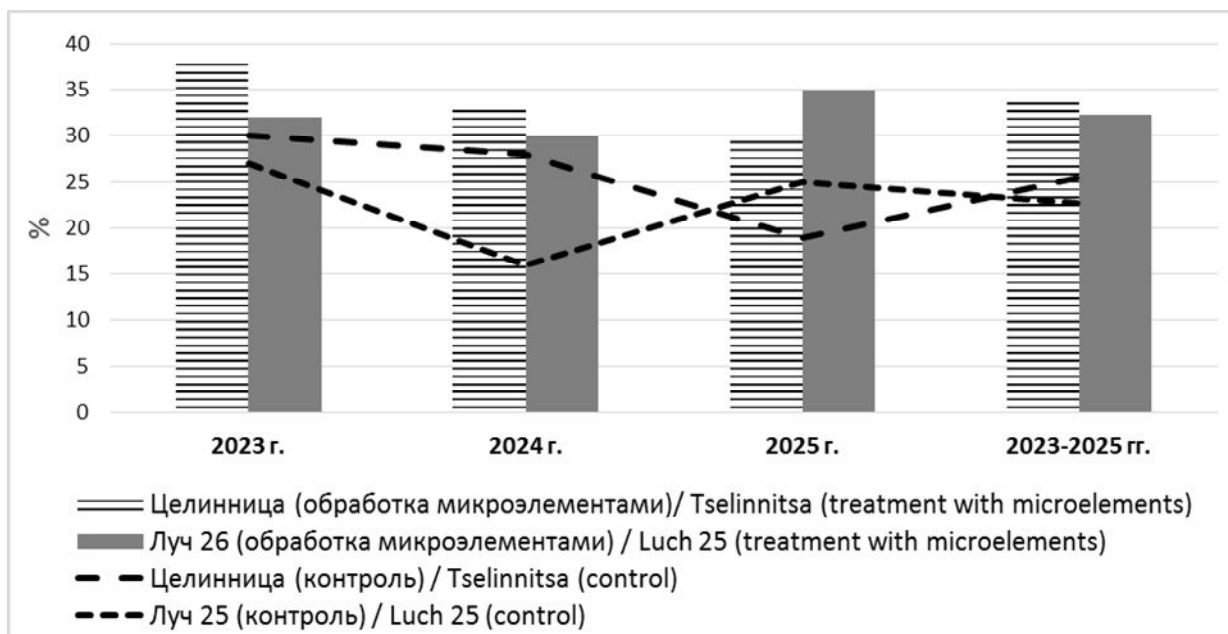


Рисунок 3. Содержание клейковины в зерне яровой твердой пшеницы, %

Figure 3. Gluten content in spring durum wheat grain, %

Обсуждение полученных результатов.

Проведенное исследование подтвердило и расширило представления о потенциале микроэлементов в ультрадисперсной форме и комплексных агротехнических приемов в повышении продуктивности и качества зерна яровой твердой пшеницы. Полученные данные, демонстрирующие статистически значимое увеличение урожайности на 0,34 т/га и улучшение морфологических показателей зерна, таких как масса 1000 зерен (прибавка более 6,5 г), являются отражением синергетического эффекта от предпосевной обработки семян и последующей листовой обработки вегетирующих растений. (Новикова А.А. и др., 2025а).

Увеличение массы 1000 зерен до 41,0-42,0 г, зафиксированное в нашем исследовании, согласуется с результатами работ, посвященных изучению влияния различных стимуляторов роста и микроудобрений на развитие зерновых культур. Например, исследования показали, что применение гуминовых препаратов и аминокислот на ранних стадиях развития пшеницы приводит к интенсивному формированию фотосинтезирующей поверхности и улучшению оттока пластических веществ в репродуктивные органы, что напрямую сказывается на массе зерна (Сульдин Д.А. и др., 2018; Мухитов Л.А., 2023). Аналогично обнаружили, что комплексная обработка семян медьсодержащими микроэлементами повышает устойчивость растений к стрессовым факторам и способствует формированию выполненного зерна (Перфильева А.И. и Забанова Н.С., 2023; Юрина Т.А. и др., 2021).

По результатам исследования установлено, что комплексная обработка семян микроэлементами дает стабильное повышение стекловидности зерна у яровой твердой пшеницы. У сорта

Целинница показатель увеличился до 51,0 % (превышение контроля на 7,0 %), а у сорта Луч 25 – до 50,6 % (превышение контроля на 8,0 %). Так как стекловидность связана с регуляцией азотного питания растений (количеством доступного азота, эффективностью его усвоения) (do Espirito Santo PA et al., 2021; Юрина Т.А. и др., 2021), то, можно предположить, что примененные нами обработки, способствовали более эффективному усвоению питательных веществ, в том числе доступных форм азота, которое и отразилось на формировании белкового комплекса зерна.

Особое значение имеет повышение относительно контроля содержания сырой клейковины, которое составило 8,1 % для сорта Целинница и 9,7 % для сорта Луч 25. В литературе отмечается, что для производства высококачественного хлеба содержание сырой клейковины в зерне мягкой пшеницы должно составлять не менее 28 % (ГОСТ Р 54478-2011). Для твердой пшеницы, традиционно используемой для макаронных изделий, требования к содержанию белка и качеству клейковины также высоки, поскольку именно они определяют текстуру, упругость и структуру готового продукта. Полученные показатели содержания сырой клейковины, достигшие 33,7 % и 32,3 %, значимо превосходят минимально допустимые нормы, что указывает на возможность получения зерна, отвечающего требованиям продовольственной и перерабатывающей промышленности. Эти результаты перекликаются с данными (Давидянц Э.С., 2022; Соколов А.П. и др., 2019), которые также выявили положительное воздействие комплексных мероприятий, включающих использование биологических стимуляторов и биофунгицидов, на содержание белка и клейковины в зерне пшеницы.

Комплексный подход к обработке семян и вегетирующих растений не только повышает урожайность, но и существенно улучшает качественные характеристики зерна яровой твердой пшеницы, делая его более конкурентоспособным на рынке.

Заключение.

Таким образом, предпосевная обработка семян суспензией ВДЧ Со (в концентрации 10^{-9} %) и листовой обработки посевов в фазу кущения-выход в трубку суспензией ВДЧ Си (в концентрации 10^{-8} %), Zn (в концентрации 10^{-3} %) и Mg (в концентрации 10^{-6} %) в среднем за 3 года способствовали повышению урожайности яровой твердой пшеницы на 0,34 т/га, массы 1000 зерен – на 6,5- 7,2 г, увеличению стекловидности – на 7,0-8,0 % и содержания клейковины – на 8,1-9,7 %. Результаты исследования подтверждают высокую эффективность интеграции предпосевной обработки семян с последующей листовой обработкой вегетирующих растений для повышения урожайности и улучшения качества зерна яровой твердой пшеницы. Дальнейшее изучение влияния данного комплекса обработок в различных почвенно-климатических условиях позволит оптимизировать технологии возделывания яровой твердой пшеницы для достижения максимальной продуктивности и пищевой ценности зерна.

Список источников

1. Влияние неорганических и хелатных форм цинк- и медьсодержащих удобрений на продуктивность и качественные характеристики зерна пшеницы / Н.А. Кодочилова, Т.С. Бузынина, В.В. Семенов, Б.И. Петров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. Т. 2. № 191. С. 40-48. [Kodochilova NA, Buzynina TS, Semenov VV, Petrov BI. Effect of inorganic and chelate forms of zinc- and copper-containing fertilizers on wheat grain productivity and quality characteristics. Bulletin of KSAU. 2023;2(191):40-48. (In Russ.)]. doi: 10.36718/1819-4036-2023-2-40-48
2. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с. [GOST 54478-2011. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Vved. 01.01.2013. Moscow: Standartinform; 2012:19 p. (In Russ.)].

3. Давидянц Э.С. Влияние регуляторов роста растений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на фоне ранневесенней азотной подкормки // *Агрохимия*. 2022. № 6. С. 45-50. [Davidyants ES. influence of plant growth regulators on the yield and grain quality of winter wheat against the background of early spring nitrogen fertilization. *Agrohimia*. 2022;6:45-50. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0002188122060047
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Стереотипное изд. Перепечатка с 5-го изд., доп. и перераб. М.: Альянс, 2014. 351 с. [Dospekhov BA. Metodika polevogo opita (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy). Stereotipnoe izd. Perepechatka s 5-go izd., dop. i pererab. Moscow: Alyans; 2014:351 p. (*In Russ.*)].
5. Малыгин А.Е., Захаров Г.М. Влияние гидротермических условий вегетационного периода на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в длительном стационарном полевым опыте // *Агрохимия*. 2022. № 2. С. 83-88. [Malygin AE, Zakharov GM. Influence of hydrothermal conditions of the growing season on the yield and quality of spring wheat grains in a long-term stationary field experiment. *Agrohimia*. 2022;2:83-88. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0002188121120073
6. Мухитов Л.А. Использование биоудобрений в технологии семеноводства яровой мягкой пшеницы в степи Южного Урала // *Земледелие*. 2023. № 8. С. 40-43. [Mukhitov LA. The use of biofertilizers in the technology of seed production of spring soft wheat in the steppe of the Southern Urals. *Zemledelie*. 2023;8:40-43. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2023-8-40-43
7. Неверов А.А., Верещагина А.С., Бельков Г.И. Влияние погодных условий и внекорневой подкормки на водопотребление и продуктивность ячменя в степной зоне Оренбургской области // *Животноводство и кормопроизводство*. 2023. Т. 106. № 3. С. 225-238. [Neverov AA, Vereshchagina AS, Bel'kov GI. Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):225-238. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-225
8. Новикова А.А., Подласова Е.Ю., Глущенко Н.Н. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами в ультрадисперсной форме на качество зерна *Triticum durum* Desf L // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2025a. № 1(79). С. 137-145. [Novikova AA, Podlasova EYu, Glushchenko NN. The effect of pre-sowing seed treatment with trace elements in ultrafine form on the grain quality of *Triticum durum* Desf L. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2025a;1(79):137-145. (*In Russ.*)]. doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
9. Новикова А.А., Подласова Е.Ю., Глущенко Н.Н. Оценка эффективности предпосевной обработки семян наночастицами бора и кобальта при возделывании зерновых культур в степной зоне Оренбургской области // *Земледелие*. 2025b. № 8. С. 22-26. [Novikova AA, Podlasova EYu, Glushchenko NN. Evaluation of the effectiveness of pre-sowing seed treatment with boron and cobalt nanoparticles in the cultivation of grain crops in the steppe zone of the Orenburg region. *Zemledelie*. 2025b;8:22-26. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2025-8-22-26
10. Об эффективности предпосевной обработки семян озимой пшеницы наночастицами металлов / Т.А. Юрина, Г.В. Дробин, О.А. Богословская и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 135-145. [Yurina TA, Drobin GV, Bogoslovskaya OA, et al. Stimulating effects of pre-sowing seed treatment with metal nanoparticles on winter wheat growth and development. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2021;56(1):135-145. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.135rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.135eng
11. Перфильева А.И., Забанова Н.С. Агрохимические аспекты применения медьсодержащих наноструктур: влияние на рост и развитие растений, антибактериальный эффект (обзор) // *Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология*. 2023. Т. 44. С. 3-26. [Perfileva AI, Zabanova NS. Agrochemical aspects of the use of copper-containing nanostructures:

influence on plant growth and development, antibacterial effect: A review. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology. 2023;44: 3-26. (*In Russ.*). doi: 10.26516/2073-3372.2023.44.3

12. Продуктивность зернового сорго и ячменя на южных черноземах Оренбургского Предуралья / Г.Ф. Ярцев, В.Б. Щукин, Р.К. Бакасов, Н.В. Ильясова, Р.А. Аймуратов // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 1. С. 263-273. [Yartsev GF, Shchukin VB, Baykasenov RK, Ilyasova NV, Aimuratov RA. Productivity of grain sorghum and barley in the southern chernozems of Orenburg Cis-Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(1):263-273. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-109-1-263

13. Сульдин Д.А., Еряшев А.П., Камалихин В.Е. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность яровой пшеницы в зависимости от сроков и кратности применения регуляторов роста и гуминовых удобрений. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. №. 1(41). С. 49-53. [Suldin DA, Eryashev AP, Kamalikhin VE. Photosynthetic activity and productivity of spring wheat depending on the timing and frequency of application of growth regulators and humic fertilizers. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018;1(41):49-53. (*In Russ.*)]. doi: 10.18286/1816-4501-2018-1-49-53

14. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) / М.С. Соколов, А.П. Глинушкин, Ю.Я. Спиридонов, Е.Ю. Торопова, О.Д. Филипчук // Агрохимия. 2019. № 5. С. 3-20. [Sokolov MS, Glinushkin AP, Spiridonov YuYa, Toropova EYu, Filipchuk OD. Technological features of soil-protective resource-saving agriculture (in development of the FAO concept). Agrohimia. 2019;5:3-20. (*In Russ.*)]. doi: 10.1134/S000218811905003X

15. Технология возделывания яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургской области / И.Н. Бесалиев, А.Л. Панфилов, Л.А. Мухитов и др. Оренбург: ООО «Типография «Агентство Пресса», 2022. 23 с. [Besaliev IN, Panfilov AL, Mukhitov LA, et al. Tehnologija vzdelyvaniya jarovoj tvjorodoj pshenicy v uslovijah Orenburgskoj oblasti. Orenburg: ООО «Tipografija «Agentstvo Pressa»; 2022:23 p. (*In Russ.*)].

16. do Espirito Santo PA, Caixeta OH, Fernandes FL, Santaella C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. Nanomaterials. 2021;11(2):267. doi: 10.3390/nano11020267

References

1. Kodochilova NA, Buzynina TS, Semenov VV, Petrov BI. Effect of inorganic and chelate forms of zinc- and copper-containing fertilizers on wheat grain productivity and quality characteristics. Bulletin of KSAU. 2023;2(191):40-48. doi: 10.36718/1819-4036-2023-2-40-48

2. State Standart 54478-2011. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Implementation date 01.01.2013. Moscow: Standartinform; 2012:19 p.

3. Davidyants ES. influence of plant growth regulators on the yield and grain quality of winter wheat against the background of early spring nitrogen fertilization. Agrochemistry. 2022;6:45-50. doi: 10.31857/S0002188122060047

4. Dospekhov BA. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Stereotype ed. Reprinted from the 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Aliance; 2014:351 p.

5. Malygin AE, Zakharov GM. Influence of hydrothermal conditions of the growing season on the yield and quality of spring wheat grains in a long-term stationary field experiment. Agrochemistry. 2022;2:83-88. doi: 10.31857/S0002188121120073

6. Mukhitov LA. The use of biofertilizers in the technology of seed production of spring soft wheat in the steppe of the Southern Urals. Agriculture. 2023;8:40-43. doi: 10.24412/0044-3913-2023-8-40-43

7. Neverov AA, Vereshchagina AS, Bel'kov GI. Influence of weather conditions and foliar feeding on water consumption and productivity of barley in the steppe zone of Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):225-238. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-225
8. Novikova AA, Podlasova EYu, Glushchenko NN. The effect of pre-sowing seed treatment with trace elements in ultrafine form on the grain quality of *Triticum durum* Desf L. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2025a;1(79):137-145. doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
9. Novikova AA, Podlasova EYu, Glushchenko NN. Evaluation of the effectiveness of pre-sowing seed treatment with boron and cobalt nanoparticles in the cultivation of grain crops in the steppe zone of the Orenburg region. *Zemledelie*. 2025b;8:22-26. doi: 10.24412/0044-3913-2025-8-22-26
10. Yurina TA, Drobin GV, Bogoslovskaya OA, et al. Stimulating effects of pre-sowing seed treatment with metal nanoparticles on winter wheat growth and development. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2021;56(1):135-145. doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.135rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.135eng
11. Perfileva AI, Zabanova NS. Agrochemical aspects of the use of copper-containing nanostructures: influence on plant growth and development, antibacterial effect: A review. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*. 2023;44: 3-26. doi: 10.26516/2073-3372.2023.44.3
12. Yartsev GF, Shchukin VB, Baykasenov RK, Ilyasova NV, Aimuratov RA. Productivity of grain sorghum and barley in the southern chernozems of Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(1):263-273. doi: 10.33284/2658-3135-109-1-263
13. Suldin DA, Eryashev AP, Kamalikhin VE. Photosynthetic activity and productivity of spring wheat depending on the timing and frequency of application of growth regulators and humic fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;1(41):49-53. doi: 10.18286/1816-4501-2018-1-49-53
14. Sokolov MS, Glinushkin AP, Spiridonov YuYa, Toropova EYu, Filipchuk OD. Technological features of soil-protective resource-saving agriculture (in development of the FAO concept). *Agrochemistry*. 2019;5:3-20. doi: 10.1134/S000218811905003X
15. Besaliev IN, Panfilov AL, Mukhitov LA, et al. Technology of cultivation of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg region. Orenburg: LLC Printing House Press Agency; 2022:23 p.
16. do Espirito Santo PA, Caixeta OH, Fernandes FL, Santaella C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials*. 2021;11(2):267. doi: 10.3390/nano11020267

Информация об авторах:

Антонина Александровна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89228884481.

Екатерина Юрьевна Подласова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89877866593.

Ишен Насанович Бесалиев, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 440051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1, тел.: +7 922 866-55-99.

Information about the authors:

Antonina A Novikova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory for Selection and Genetic Research in Plant Growing, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89228884481.

Ekaterina Yu Podlasova, Cand. Sci. (Agriculture), Research Assistant, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89877866593.

Ishen N Besaliev, Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 440051, tel.: +7 922 866-55-99.

Статья поступила в редакцию 19.06.2026; одобрена после рецензирования 07.08.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 19.06.2026; approved after reviewing 07.08.2026; accepted for publication 14.09.2026.