

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 332-343.  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No 4. P. 332-343.

## ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК: 633.11:546.47:631.559(470.56)

doi:10.33284/2658-3135-108-4-332

### **Результаты применения ультрадисперсных форм цинка и меди на яровой пшенице в условиях Оренбургской области**

**Антонина Александровна Новикова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,  
Оренбург, Россия

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

**Аннотация.** Цель исследования – получение качественных семян в условиях степной зоны Оренбургской области путем применения цинка и меди в ультрадисперсной форме на яровой пшенице. Опыт заложен в 2023-2024 гг. в условиях Оренбургской области с использованием сортов яровой твердой пшеницы Целинница, Луч 25 и Безенчукская золотистая. Для предпосевной обработки семян применяли ультрадисперсные формы меди и цинка. Исследования показали, что в контролльном варианте без обработки семян энергия прорастания составляла 86,5-89,2 %. Обработка семян УДФ цинка повышала ее значение на 5,0-7,2 %, УДФ меди – на 6,4-7,8 %; наибольшая лабораторная всхожесть отмечена при использовании меди (превышение над контролем до 8,1 %), при обработке цинком прирост был также достоверным (4,2-5,8 %). Полевая всхожесть увеличивалась до 78,1-82,2 %; максимальный эффект наблюдался при обработке УДФ меди (на 11,0-15,0 %), цинк обеспечивал прирост на 10,8-12,8 %. Средняя урожайность за два года варьировала от 1,2 до 2,0 т/га; обработка семян УДФ цинка и меди приводила к прибавке урожайности во всех вариантах (максимальные прибавки: Zn – на 0,5 т/га, Cu – на 0,6 т/га). Доля выхода кондиционных семян повышалась до 65,5-85,0 %, при обработке цинком прирост составил 5,7-11,7 %. Предпосевная обработка семян оказывала влияние на качество семян: натура увеличивалась при использовании УДФ Cu на 16,5-25,5 г/л и УДФ Zn – на 8,0-17,5 г/л; масса 1000 зерен увеличивалась на 1,4-3,7 г. Достоверное повышение содержания белка отмечено лишь у сорта Луч 25 при обработке семян УДФ Cu (на 0,4 г). Полученные результаты подтверждают эффективность предпосевной обработки семян ультрадисперсными формами меди и цинка для повышения семенной продуктивности и качества яровой твердой пшеницы.

**Ключевые слова:** яровая твердая пшеница, цинк, медь, урожайность, выход кондиционных семян, качество семян, предпосевная обработка

**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. Результаты применения ультрадисперсных форм цинка и меди на яровой пшенице в условиях Оренбургской области // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 332-343. [Novikova AA. The results of the application of ultrafine forms of zinc and copper on spring wheat in the Orenburg region. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):332-343. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-332>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

**The results of the application of ultrafine forms of zinc and copper on spring wheat in the Orenburg region**

**Antonina A Novikova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

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

**Abstract.** The aim of the study was to obtain high-quality seeds in the conditions of the steppe zone of the Orenburg region by applying ultrafine zinc and copper on spring wheat. The experiment was performed in 2023-2024 in the Orenburg region using spring durum wheat varieties Tselinnitsa, Luch 25 and Bezenchukskaya zolotaya. Ultrafine forms of copper and zinc were used for pre-sowing seed treatment. Studies have shown that in the control variant without treatment, the germination energy was 86.5-89.2%. Seed treatment with zinc UFP increased its value by 5.0-7.2%, copper UFP – by 6.4-7.8 %. The highest laboratory germination was observed when treated with copper (exceeding the control by up to 8.1%), and when treated with zinc, the increase was also significant (4.2-5.8%). Field germination increased up to 78.1-82.2%; the maximum effect was observed when treated with copper (+11.0-15.0%), zinc provided an increase by 10.8-12.8%. The average yield over two years varied 1.2-0 t/ha; treatment of seeds with zinc and copper UFP led to an increase in yield in all variants (maximum increases: Zn +0.5 t/ha, Cu +0.6 t/ha). The share of the yield of conditioned seeds increased to 65.5-85.0%, with an increase of 5.7-11.7% when treated with zinc. Pre-sowing seed treatment had an impact on seed quality: natural weight increased with the use of Cu UFP by 16.5-25.5 g /l and Zn UFP by 8.0-17.5 g/l; the weight of 1000 grains increased by 1.4-3.7 g. A significant increase in protein content was noted only in the Luch 25 variety when treated with copper (+0.4 g). The results obtained confirm the effectiveness of pre-sowing seed treatment with ultrafine forms of copper and zinc to increase seed productivity and quality of spring durum wheat.

**Keywords:** spring durum wheat, zinc, copper, yield, yield of conditioned seeds, seed quality, pre-sowing treatment

**Acknowledgments:** 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. The results of the application of ultrafine forms of zinc and copper on spring wheat in the Orenburg region. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):332-343. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-332>

**Введение.**

Оренбургская область характеризуется резко континентальным климатом с преобладающими дефицитными и неравномерно распределенными осадками, высокой величиной годовой и суточной амплитуды температур и значительной вариабельностью погодных условий в разные годы. В агроэкологических рамках региона доминируют легкие и средние по гранулометрическому составу почвы (сероземы, выщелоченные черноземы, каштановые и т. д.), которые нередко обладают пониженным содержанием органического вещества и низкими запасами подвижных форм ключевых минералов (Бакиров Ф.Г. и др., 2024). Совокупность указанных факторов определяет повышенную вероятность водного стресса, колебания продуктивности и нестабильность валовых урожаев яровых зерновых культур, в том числе твердой пшеницы (Малыгин А.Е. и Захаров Г.М., 2022; Козулина Н.С. и др., 2025).

Для Оренбургской области яровая твердая пшеница имеет дополнительную практическую значимость ввиду ее адаптивных особенностей и возможности интеграции в локальные севообороты (Бесалиев И.Н. и др., 2021). В условиях региона, твердые сорта способны обеспечить более стабильные технологические и качественные показатели зерна по сравнению с некоторыми мягкими сортами, что обусловлено их генетически детерминированными физиологическими особенностями формирования зернового эндосперма и переносимости стрессовых условий в критические фенофазы (колошение–налив–созревание). Кроме того, включение твердой пшеницы в региональные посевые площади способствует расширению ассортимента перерабатываемого сырья на местных мукомольных и пищевых предприятиях, снижая зависимость от импорта специализированного зерна и повышая добавленную стоимость регионального производства (Скороходов В.Ю. и др., 2023).

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость проведения целенаправленных агротехнических и агрохимических мероприятий для повышения устойчивости производства и качества зерна. Одним из перспективных подходов в этой области является использование ультрадисперсных форм (УДФ) микроэлементов, включающих коллоидные и наноструктурированные композиции. Они проявляют повышенную реактивность и подвижность, что может обеспечивать более быстрый и контролируемый переход элементов в доступные для растений формы при сниженных нормах внесения. Такие свойства потенциально способствуют быстрому восстановлению нарушенных метаболических процессов, повышению устойчивости растений к стрессам, улучшению усвоения и распределения микроэлементов в тканях и, в конечном счете, биофортификации зерна без накопления значимых остатков в почве и окружающей среде при корректном применении (Rasheed A et al., 2023; Yurina TA et al., 2021). При этом одновременное или поочередное применение УДФ микроэлементов может реализовывать синергетические эффекты, влияя на ферментативные системы и координируя физиологические ответы растения, что потенциально улучшает ростовые показатели и продуктивность растений.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью адаптации инновационных форм микроудобрений к специфическим условиям Оренбургской области и объективной оценкой их влияния на яровую пшеницу, в том числе на урожайность и качество семян.

### Цель исследований.

Получение качественных семян в условиях степной зоны Оренбургской области путем применения цинка и меди в ультрадисперсной форме на яровой твердой пшенице.

### Материалы и методы исследования.

**Объект исследований.** Сорта яровой твердой пшеницы – Целинница (оригинатор – ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, г. Оренбург), Безенчукская золотистая (оригинатор – ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр РАН, г. Самара) и Луч 25 (оригинатор – ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», г. Саратов).

**Характеристика территорий, природно-климатические условия.** Полевые исследования проводили на базе опытного поля ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (Оренбургская обл., Оренбургский район). Преобладающий тип почвы участка – чернозем южный остаточно-луговатый карбонатный малогумусный слабосмытый тяжелосуглинистый. Мощность гумусового горизонта 30-32 см (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почв опытного участка (среднее за 2023-2024 гг.)

Table 1. Agrochemical characteristics of the soils of the experimental site (for 2023-2024)

Слой почвы / Soil layer	Гумус / Humus, %	NO <sub>3</sub> ,	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	pH
		мг/кг почвы / mg/kg of soil					
0-10 см / 0-10 cm	4,3	8,3	24,0	388	0,7	0,13	7,7
10-20 см / 10-20 cm	4,2	8,0	21,3	381	0,6	0,15	7,5
20-30 см / 20-30 cm	3,8	7,6	19,7	365	0,7	0,19	7,1

Агрометеорологические условия вегетационных периодов 2023 и 2024 гг. различались между собой по тепло- и влагообеспеченности и характеризовались значительными колебаниями температуры воздуха и неравномерным распределением осадков, что оказало влияние на развитие яровой твердой пшеницы. При этом в 2023 г. складывались засушливые условия - значение гидротермического коэффициента 0,33 указывало на выраженный дефицит влаги. Накопление осадков за вегетацию было низким и равнялось 84,4 мм. Сумма активных температур составляла 1638,3 °C. В 2024 г. сформировался благоприятный гидрологический режим для развития культуры. Погодные условия характеризовались как влажные, ГТК был равен 1,27, осадки в течение вегетационного периода выпадали преимущественно ливневого характера, их накопление было значительно выше чем в 2023 и составило 226,5 мм. Сумма активных температур за вегетацию достигла 1751,9 °C.

**Схема эксперимента.** Опыт закладывали в 2023-2024 гг. в соответствии с методикой государственного сортиспытания (Методика государственного сортиспытания..., 2019). Повторность – трехкратная, учетная площадь делянки – 32 м<sup>2</sup>, расположение вариантов – последовательное. Схема опыта включала изучение следующих вариантов: сорта яровой пшеницы (фактор А) – Бензенчукская золотистая, Луч 25, Целинница; предпосевная обработка (фактор В) – без обработки (контроль), обработка УДФ цинка (Zn), обработка УДФ меди (Cu).

Препараты цинка и меди были предоставлены ИНЭПХФ им. В.Л. Тальрозе (г. Москва). Использованные микроэлементы представляли собой частицы монокристаллической структуры сферической формы, состоящие из кристаллической металлической фазы, покрытой оксидной пленкой размером 1,0-0,5 нм. Средний размер частиц Zn составлял 54,0±2,8 нм; Cu – 79,0±1,24 нм. Гидродинамический диаметр частиц меди в суспензии был равен 616 (32,6 %) и 103,7 (67,4 %) нм, у цинка – 570 (100 %) нм. Дзета-потенциал характеризовался монодисперсностью с одним пиком для цинка на 31,7 мВ и для меди на 28,1 мВ.

Для получения препаратов водную суспензию металлических порошков получали на ультразвуковом дезинтеграторе в режиме 0,5 А при частоте 44 кГц в течение 30 секунд с 30-секундным перерывом и охлаждением льдом в три приема. Затем суспензию добавляли к раствору полимера, содержащему 1 % Na<sub>2</sub>-карбоксиметилцеллюлозы, 2,5% полиэтиленгликоля-400 и 0,037 % Na<sub>2</sub>-ЭДТА. Для испытаний были приготовлены следующие препараты: 1) Zn 10<sup>-3</sup> % 2) Cu 10<sup>-8</sup> %. Расход рабочего раствора составил 10 мл на 1 кг семян, обработку семян проводили однократно методом дражирования.

Агротехнические мероприятия выполняли по рекомендованным для центральной и восточной зон Оренбургской области технологической схеме возделывания (Бесалиев И.Н. и др., 2022).

В опыте определяли влияние предпосевной обработки семян на урожайность пшеницы, долю выхода кондиционных семян, натуру зерна (ГОСТ 10840-2017), массу 1000 зерен (ГОСТ 10842-89), содержание сырого протеина (ГОСТ 10846-91), энергию прорастания, лабораторную (ГОСТ 12038-84) и полевую всхожесть.

**Оборудование и технические средства.** Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-bst.рф>), в том числе ультразвуковой дезинтегратор UP50H (Hielscher, Германия), комбайн Сампо-130 (Sampo-Rosenlew Oy, Финляндия), пурка ПХ-1МЦ (Приборинформ, Россия), весы аналитические (Госметр, Россия).

**Статистическая обработка.** Экспериментальные данные опыта подвергали математической обработке с помощью дисперсионного анализа в изложении Б.А. Доспехова (1985) с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel» («Microsoft», США).

### **Результаты исследования.**

В контрольном варианте без обработки препаратами энергия прорастания семян у яровой пшеницы в зависимости от сорта изменялась в пределах от 86,5 до 89,2 % (табл. 2).

Таблица 2. Посевные качества семян яровой пшеницы в опытах с препаратами цинка и меди, (среднее за 2023-2024 гг.), %

Table 2. Sowing qualities of seeds of spring wheat seeds in experiments with zinc and copper preparations, (for 2023-2024), %

Сорт (фактор А) / Grade (factor A)	Вариант предпосевной обработки семян (фактор B) / Seed pre-treatment option (factor B)			Среднее по фактору А / The average according to factor A
	без обработки / without treatment	обработка Zn / Zn treatment	обработка Cu / Cu treatment	
<b>Энергия прорастания / Germination energy</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	86,5	93,1	94,3	91,3
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	89,2	94,2	96,2	93,2
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	87,2	94,4	93,6	91,7
Среднее по фактору В / <i>Average according to factor B</i>	87,6	93,9	94,7	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,6; по фактору В – 1,4; взаимодействию АВ – 1,4 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.6; for factor B is 1.4; for the AB interaction is 1.4				
<b>Лабораторная всхожесть / Laboratory germination</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	88,8	94,4	95,9	93,0
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	92,3	96,5	98,0	95,6
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	90,1	95,9	98,2	94,7
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	90,4	95,6	97,4	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,9; по фактору В – 0,9; взаимодействию АВ – 1,8 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.9; for factor B is 0.9; for the AB interaction is 1.8				
<b>Полевая всхожесть / Field germination</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	67,3	78,1	82,2	75,9
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	71,1	83,6	82,0	78,9
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	68,5	81,3	81,0	76,9
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	68,9	81,0	81,7	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,8; по фактору В – 0,7; взаимодействию АВ – 0,7 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.8; for factor B is 0.7; for the AB interaction is 0.7				

Обработка семян микроэлементами в УДФ положительно повлияла на величину показателя. Так, в варианте с использованием цинка у сорта Целинница она повысилась на 6,6 %, Безенчукская золотистая – на 5,0 % и Луч 25 – на 7,2 %. При обработке семян медью энергия прорастания увеличилась относительно контроля на 7,8 %, 7,0 % и 6,4 % соответственно.

Наибольшая лабораторная всхожесть была в вариантах с обработкой семян УДФ Си, превышение относительно вариантов без обработки составило у Целинницы 7,1 %, Безенчукской золотистой – 5,7 % и Луч 25 – 8,1 %. Достоверную прибавку на 5,6 %, 4,2 % и 5,8 % соответственно обеспечила обработка семян УДФ Zn. Минимальные значения этого показателя отмечены на контроле.

В исследованиях обработка семян способствовала повышению полевой всхожести от 78,1 до 82,2 %. Наибольшая полевая всхожесть была в варианте с обработкой семян медью (+15,0 % – у сорта Целинница, +11,0 % – у сорта Безенчукская золотистая и +12,5 % – у сорта Луч 25). Обработка цинком увеличила значение данного показателя на 10,8-12,8 %.

В среднем за два года значение урожайности культуры находилось в пределах от 1,2 до 2,0 т/га. Использование УДФ меди и цинка при обработке семян привело к увеличению урожайности во всех вариантах опыта в сравнении с контролем (табл. 3). Наибольшая прибавка урожайности в среднем за два года составляла в вариантах с обработкой семян цинком – 0,5 т/га (сорт Безенчукская золотистая), медью – 0,6 т/га (сорта Целинница и Безенчукская золотистая).

**Таблица 3. Урожайность (т/га) и выход семян (%) яровой пшеницы в опытах с препаратами цинка и меди, (среднее за 2023-2024 гг.)**

**Table 3. Yield (t/ha) and yield of seeds (%) of spring wheat seeds in experiments with zinc and copper preparations, (for 2023-2024)**

Сорт (фактор А) / <i>Grade (factor A)</i>	Вариант предпосевной обработки семян (фактор B) / <i>Seed pre-treatment option (factor B)</i>			Среднее по фактору А / <i>The average of factor A</i>
	без обработки / <i>without treatment</i>	обработка Zn / Zn <i>treatment</i>	обработка Cu / Cu <i>treatment</i>	
<b>Урожайность / Yield</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	1,2	1,6	1,8	1,5
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	1,4	1,9	2,0	1,8
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	1,3	1,7	1,9	1,6
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	1,3	1,7	1,9	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,02; по фактору В – 0,02; взаимодействию АВ – 0,03 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.02; for factor B is 0.02; for the AB interaction is 0.03				
<b>Выход семян / Seed yield</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	66,9	73,2	72,5	70,8
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	72,4	82,9	84,1	79,8
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	70,1	78,1	80,2	75,7
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	69,8	78,1	78,9	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,36; по фактору В – 0,36; взаимодействию АВ – 0,64 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.36; for factor B is 0.36; for the AB interaction is 0.64				

Доля выхода семян яровой твердой пшеницы варьировала от 65,5 до 85,0 % в зависимости от погодных условий и от варианта обработки, и в среднем за годы исследований на необработанных вариантах составила 66,9-72,4 %. Обработка семян перед посевом препаратором цинка увеличивала выход кондиционных семян у сорта Целинницы на 6,3 %, сорта Безенчукская золотистая – на 10,5 % и сорта Луч 25 – на 8,0 %. Предпосевная обработка семян медью повысила выход семян на 5,7 %, 11,7 % и 10,1 % соответственно.

Использование ультрадисперсных форм микроэлементов в технологии возделывания яровой твердой пшеницы не только увеличивало семенную продуктивность, но и улучшило качество семян. Повышение натуры зерна при обработке семян препаратами меди относительно контроля составило

у сорта Целинница 17,0 г/л, сорта Безенчукская золотистая – 16,5 г/л и сорта Луч 25 – 25,5 г/л, а применение цинка увеличило значение показателя на 10,5 г/л, 8,0 г/л и 17,5 г/л соответственно. Установлено положительное влияние используемых микроудобрений на массу 1000 зерен. Прибавка относительно контроля при использовании цинка составила 1,4-2,7 г, тогда как применение меди увеличивало ее на 1,4-3,7 г. В сравнении с контролем, достоверное увеличение содержания белка в семенах отмечали только у сорта Луч 25 в варианте с обработкой семян медью – на 0,4 г.

Таблица 4. Качество семян яровой пшеницы в опытах с препаратами цинка и меди,  
 (среднее за 2023-2024 гг.)

Table 4. Quality of spring wheat seeds in experiments with zinc and copper preparations,  
 (for 2023-2024)

Сорт (фактор А) / Grade (factor A)	Вариант предпосевной обработки семян (фактор Б) / Seed pre-treatment option (factor B)			Среднее по фактору А / The average of factor A
	без обработки / without treatment	обработка Zn / Zn treatment	обработка Cu / Cu treatment	
<b>Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	34,6	36,0	36,0	35,5
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	34,1	36,8	37,8	36,2
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	34,3	36,1	37,3	35,9
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	34,3	36,3	37,2	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,73; по фактору В – 0,73; взаимодействию АВ – 1,27 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.73; for factor B is 0.73; for the AB interaction is 1.27				
<b>Натура г/л / Natural weight g/l</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	759	770	776	768
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	769	777	785	777
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	751	769	777	766
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	759	772	779	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 8; по фактору В – 8; взаимодействию АВ – 15 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 8; for factor B is 8; for the AB interaction is 15				
<b>Содержание белка, % / Protein, %</b>				
Целинница / <i>Tselinnitsa</i>	8,2	8,5	8,5	8,4
Безенчукская золотистая / <i>Bezenchukskaya Zolotistaya</i>	9,1	9,4	9,5	9,3
Луч 25 / <i>Luch 25</i>	9,6	9,6	10,0	9,7
Среднее по фактору В / <i>Average on factor B</i>	8,9	9,1	9,3	-
НСР <sub>05</sub> по фактору А – 0,3; по фактору В – 0,4; взаимодействию АВ – 0,4 / NSD <sub>05</sub> for factor A is 0.3; for factor B is 0.4; for the AB interaction is 0.4				

#### Обсуждение полученных результатов.

Микроэлементы цинк и медь занимают ключевые позиции в биохимии и физиологии пшеницы: они выступают коферментами и структурными компонентами многочисленных ферментных

систем, участвуют в процессах фотосинтеза, синтеза белка, обмена гормонов роста (включая регуляцию синтеза ауксинов), антиоксидантной защите растений и формировании адаптивных реакций на абиотические и биотические стрессы (Багринцева В.Н. и др., 2023; Yurina TA et al., 2021). Хронический дефицит Zn и Cu в почве и тканях растений приводит к нарушению метаболических путей, замедлению роста, снижению количества и качества зерна, а также к повышенной восприимчивости к засухе, температурным колебаниям и патогенам, что имеет непосредственные экономические и продовольственные последствия (Кодочилова Н.А. и др., 2023; Новикова А.А. и др., 2025). В условиях целенаправленной интенсификации производства и одновременно ужесточающихся требований экологической безопасности важна разработка форм внесения микроэлементов, обеспечивающих эффективную доставку необходимого количества микроэлементов растениям при минимальном воздействии на почвенно-водную среду (Бесалиев И.Н. и Мироненко С.И., 2024).

Полученные результаты демонстрируют системную положительную реакцию яровой твердой пшеницы на предпосевную обработку семян ультрадисперсными формами цинка и меди: повышались энергия прорастания, лабораторная и полевая всхожесть, выход кондиционных семян, масса 1000 зерен, натура и средняя урожайность. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями и доказывают, что микроэлементы Zn и Cu, в том числе в ультрадисперсных формах, повышают жизнеспособность семян и стартовую фенологию за счет активации ферментативных систем и укрепления антиоксидантной защиты при прорастании (Козулина Н.С. и др., 2025; Adhikary S et al., 2022).

Сортозависимая реакция, выявленная в настоящем исследовании (различия в величине прироста по сортам Целинница, Бузенчукская золотистая и Луч 25), отражает генетически детерминированные различия в статусе микроэлементов, способности к их поглощению и перераспределению, а также особенности метаболической регуляции процессов формирования зерна. Эти выводы коррелируют с результатами последних генотип-ориентированных исследований, указывающих на значительную вариабельность ответов культурных сортов на микроэлементную подкормку и на необходимость адаптации агротехнических мероприятий к конкретным генотипам (Popovic V et al., 2020).

Увеличение массы 1000 зерен и натуры при использовании УДФ Cu и Zn в нашем опыте может быть объяснено улучшением процессов в межфазный период налив–созревания: доступность микроэлементов в критические фенофазы усиливает активность ферментов углеводного и белкового обмена, способствует эффективному транспорту и аккумуляции ассимилятов в семядоли и эндосперме. Современные экспериментальные работы подтверждают положительное влияние локального (предпосевного) внесения микроэлементов на морфофизиологические параметры и накопление сухого вещества в зерне, отмечая при этом зависимость эффекта от дозы и формы соединения (Waqas Mazhar M et al., 2022).

Ограниченнность влияния на содержание белка – достоверное увеличение лишь у одного сорта при обработке медью – соответствует публикациям, где отмечается, что формирование белкового комплекса зерна определяется основной макропитаемостью (в первую очередь, азотом), водным режимом и генетикой сорта, а микроэлементы чаще опосредуют метаболические процессы, влияющие на перераспределение и качественный состав белков, нежели являются прямым фактором увеличения общей белковой массы без достаточного азотного обеспечения (Неверов А.А и др., 2023).

### **Заключение.**

Таким образом, по результатам исследований установлено, что предпосевная обработка семян ультрадисперсными формами микроэлементов (цинк, медь) оказывает положительное влияние на всхожесть, полевую всхожесть, семенную продуктивность и ряд качественных показателей яровой твердой пшеницы трех исследованных сортов. Энергия прорастания повышалась при обработке цинком на 5,0-7,2 %, при обработке медью – на 6,4-7,8 %, при этом наибольшие показатели лабораторной всхожести зарегистрированы в вариантах с медью. Полевая всхожесть увеличивалась

от 10,8 до 15,0 % в зависимости от сорта и препарата (максимальный эффект — при обработке медью). Средняя урожайность за два года повышалась во всех вариантах с обработкой семян: максимальные прибавки составили до 0,5 т/га при применении цинка и до 0,6 т/га — при применении меди. Обработка семян способствовала также увеличению выхода кондиционных семян (при обработке цинком — до 5,7-11,7 %) и улучшению качественных параметров зерна: прирост натуры составил при использовании Cu 16,5-25,5 г/л, Zn — 8,0-17,5 г/л; масса 1000 зерен увеличилась на 1,4-3,7 г.

Полученные результаты подтверждают практическую целесообразность включения предпосевной обработки семян ультрадисперсными формами меди и цинка в технологии возделывания яровой твердой пшеницы с целью повышения семенной продуктивности и урожайности.

#### Список источников

1. Багринцева В.Н., Ивашененко И.Н., Сотченко Д.Ю. Влияние внекорневой подкормки микроудобрением Батр Цинк на урожайность кукурузы и кормовые качества зерна // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 213-224. [Bagrintseva VN, Ivashenenko IN, Sotchenko DY. Influence of foliar application with Batr Zinc microfertilizer on corn yield and grain feeding quality. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(3):213-224. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-213
2. Бесалиев И.Н., Мироненко С.И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 324-336. [Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(4):324-336. (In Russ.)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
3. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Бейская в условиях Красноярской лесостепи / Н.С. Козулина, А.В. Василенко, А.В. Бобровский, А.А. Крючков, Н.С. Герасимова // Земледелие. 2025. № 1. С. 20-23. [Kozulina NS, Vasilenko AV, Bobrovsky AV, Kryuchkov AA, Gerasimova NS. The influence of mineral nutrition on the yield and quality of spring wheat of the Beiskaya variety in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. Zemledelie. 2025;1:20-23. (In Russ.)]. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-20-23
4. 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
5. Влияние погодных условий и внекорневой подкормки на водопотребление и продуктивность ячменя в степной зоне Оренбургской области / А.А. Неверов, А.С. Верещагина, Г.И. Бельков // 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
6. ГОСТ 10840-2017. Зерно. Метод определения натуры. М.: Стандартинформ, 2019. Введ. 01.01.2019. 9 с. [GOST 10840-2017. Grain. Method for determination of hectolitre weight. Moscow: Standartinform, 2019. Vved. 01.01.2019. 9 p. (In Russ.)].
7. ГОСТ 10842-89. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. М.: Стандартинформ, 2009. Введ. 01.07.91. 4 с. [GOST 10842-89. Cereals, pulses and oilseeds. Method for determination of 1000 kernels or seeds weight. Moscow: Standartinform, 2009. Vved. 01.07.91. 4 p. (In Russ.)].

8. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Стандартинформ, 2009. Введ. 01.06.93. 8 с. [GOST 10846-91. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform, 2009. Vved. 01.06.93. 8 p. (*In Russ.*)].
9. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. Введ. 01.07.86. 32 с. [GOST 10846-91. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standartinform, 2011. Vved. 01.07.86. 32 p. (*In Russ.*)].
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospelkhov BA. Metodika polevogo opyta: (c osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., dop. i pererab. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p. (*In Russ.*)].
11. Изменение плотности чернозёма южного под влиянием приёмов и систем обработки почвы / Ф.Г. Бакиров, Н.Д. Берлишев, И.В. Васильев, Т.Н. Васильева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 2. С. 179-187. [Bakirov FG, Berlishev ND, Vasilev IV, Vasiliyeva TN. Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(2):179-187. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-179
12. Качество зерна яровой мягкой и твёрдой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, А.А. Зоров, Е.Н. Скороходова, Н.А. Зенкова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 260-272. [Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):260-272. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
13. Малыгин А.Е., Захаров Г.М. Влияние гидротермических условий вегетационного периода на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в длительном стационарном полевом 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
14. Методика государственного сортиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М.: ФГБУ Госсорткомиссия, 2019. 329 с. [The methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part. Moscow: FGBU Gossortkommission, 2019. 329 p. (*In Russ.*)].
15. 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. 2025. № 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. 2025;1(79):137-145. (*In Russ.*)]. doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
16. Об эффективности предпосевной обработки семян озимой пшеницы наночастицами металлов / Т.А. Юрина, Г.В. Дробин, О.А. Богословская, И.П. Ольховская, Н.Н. Глущенко // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 135-145. [Yurina TA, Drobin GV, Bogoslovskaya OA, Olkhovskaya IP, Glushchenko NN. 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
17. Особенности формирования морфологических признаков проростков и активность ферментов яровой мягкой пшеницы на фоне индуцированного солевого стресса / И.Н. Бесалиев, А.Л. Панфилов, Н.С. Регер // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 3. С. 138-146.

[Besaliev IN, Panfilov AL, Reger NS. Peculiarities of formation of morphological characters and the activity of enzymes in spring wheat seedlings the background of induced salinity stress. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(3):138-146. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-138

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

19. Adhikary S, Biswas B, Chakraborty D, et al. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Sci Rep.* 2022;12(1):7103. doi: 10.1038/s41598-022-11307-4

20. Popovic V, Ljubicic N, Kostic M, et al. Genotype × environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants (Basel)*. 2020;9(12):1804. doi:10.3390/plants9121804

21. Rasheed A, Li H, Tahir MM, Mahmood A, Nawaz M, Shah AN, Aslam MT, Negm S, Moustafa M, Hassan MU, Wu Z. The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Front Plant Sci.* 2022;13:976179. doi: 10.3389/fpls.2022.976179

22. Waqas Mazhar M, Ishtiaq M, Hussain I, et al. Seed nano-priming with Zinc Oxide nanoparticles in rice mitigates drought and enhances agronomic profile. *PLoS One*. 2022;17(3):e0264967. doi:10.1371/journal.pone.0264967

## References

1. Bagrintseva VN, Ivashnenko IN, Sotchenko DY. Influence of foliar application with Batr Zinc microfertilizer on corn yield and grain feeding quality. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):213-224. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-213
2. Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-324
3. Kozulina NS, Vasilenko AV, Bobrovsky AV, Kryuchkov AA, Gerasimova NS. The influence of mineral nutrition on the yield and quality of spring wheat of the Beiskaya variety in the conditions of the Krasnovarsk forest-steppe. *Agriculture*. 2025;1:20-23. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-20-23
4. 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
5. 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
6. GOST 10840-2017. Grain. Method for determination of hectolitre weight. Moscow: Standartinform, 2019. Implementation date 01.01.2019. 9 p.
7. GOST 10842-89. Cereals, pulses and oilseeds. Method for determination of 1000 kernels or seeds weight. Moscow: Standartinform, 2009. Implementation date 01.07.91. 4 p.
8. GOST 10846-91. Grain and products of its processing. Method for determination of protein. Moscow: Standartinform, 2009. Implementation date 01.06.93. 8 p.
9. GOST 10846-91. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Moscow: Standartinform, 2011. Implementation date 01.07.86. 32 p.
10. Dospekhov BA. Methods of field experiment: (with the basics of statistical processing of research results) 5th ed., supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat; 1985: 351.

11. Bakirov FG, Berlishev ND, Vasiliev IV, Vasilyeva TN. Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2024;107(2):179-187. doi: 10.33284/2658-3135-107-2-179
12. Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2023;106(4):260-272. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-260
13. 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. *Agronomy.* 2022;2:83-88. doi: 10.31857/S0002188121120073
14. The methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part. Moscow: FGBU Gossortkommission, 2019. 329 p.
15. 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.* 2025;1(79):137-145. doi: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
16. Yurina TA, Drobina GV, Bogoslovskaya OA, Olkhovskaya IP, Glushchenko NN. 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
17. Besaliev IN, Panfilov AL, Reger NS. Peculiarities of formation of morphological characters and the activity of enzymes in spring wheat seedlings the background of induced salinity stress. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2021;104(3):138-146. doi: 10.33284/2658-3135-104-3-138
18. Besaliev IN, Panfilov AL, Mukhitov LA, et al. Technology of growing spring durum wheat in the Orenburg region. Orenburg: OOO «Publishing House « Press Agency»; 2022: 23 p.
19. Adhikary S, Biswas B, Chakraborty D, et al. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Sci Rep.* 2022;12(1):7103. doi: 10.1038/s41598-022-11307-4
20. Popovic V, Ljubicic N, Kostic M, et al. Genotype × environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants (Basel).* 2020;9(12):1804. doi: 10.3390/plants9121804
21. Rasheed A, Li H, Tahir MM, Mahmood A, Nawaz M, Shah AN, Aslam MT, Negm S, Moustafa M, Hassan MU, Wu Z. The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Front Plant Sci.* 2022;13:976179. doi: 10.3389/fpls.2022.976179
22. Waqas Mazhar M, Ishtiaq M, Hussain I, et al. Seed nano-priming with Zinc Oxide nanoparticles in rice mitigates drought and enhances agronomic profile. *PLoS One.* 2022;17(3):e0264967. doi:10.1371/journal.pone.0264967

**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.

**Information about the authors:**

**Antonina A Novikova**, Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory for Breeding 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.

Статья поступила в редакцию 13.10.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 15.12.2025.