

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 326-338.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 2. P. 326-338.

Научная статья
УДК 633.16:633.173(470.56)
doi: 10.33284/2658-3135-109-2-326

Влияние предпосевной обработки семян на урожайность зерновых культур в условиях Оренбургского Предуралья

Антонина Александровна Новикова¹, Екатерина Юрьевна Подласова²,
Екатерина Андреевна Бобошко³

^{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>

³ekaterina-boboshko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9689-9656>

Аннотация. Цель исследования – изучить влияние предпосевной обработки семян различными микроэлементами в ультрадисперсной форме на урожайность ярового ячменя и проса посевного. Работу выполнили в 2024-2025 гг. на опытных полях ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Семена зерновых и крупяных культур перед посевом обрабатывали суспензией ультрадисперсных частиц микроэлементов в полимерном покрытии: Zn (10^{-3} %), Cu (10^{-6} %) и Mn (10^{-4} %). Расход рабочего раствора составлял 10 мл/кг семян. Условия вегетации характеризовались в 2024 г. повышенным количеством осадков с нестабильным температурным режимом, в 2025 г. – высокими температурами с неравномерным выпадением осадков. В среднем за два года результаты исследования показали, что урожайность проса посевного составила 2,82-3,74 т/га, ярового ячменя – 1,67-1,83 т/га. Максимальное значение данного показателя у проса получено при обработке семян перед посевом ультрадисперсными частицами цинка (на 32,6 % выше относительно контроля) и марганца (на 32,0 % выше относительно контроля). Наибольшая урожайность ячменя отмечена на вариантах с использованием цинка, прибавка относительно необработанных вариантов составила 8,4 %, обработка семян марганцем снижала показатель на 4,8 %. Таким образом, результаты исследований показали перспективность применения наночастиц металлов для повышения урожайности изучаемых культур в условиях Оренбургского Предуралья.

Ключевые слова: яровой ячмень, просо посевное, ультрадисперсные частицы, медь, цинк, марганец, предпосевная обработка семян, урожайность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0015).

Для цитирования: Новикова А.А., Подласова Е.Ю., Бобошко Е.А. Влияние предпосевной обработки семян на урожайность зерновых культур в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 326-338. [Novikova AA., Podlasova EYu, Boboshko EA. The effect of pre-sowing seed treatment on grain crop yields in the Orenburg Cis-Urals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):326-338. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-326>

Original article

The effect of pre-sowing seed treatment on grain crop yields in the Orenburg Cis-Urals

Antonina A Novikova¹, Ekaterina Yu Podlasova², Ekaterina A Boboshko³

^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies 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>

³ekaterina-boboshko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9689-9656>

Abstract. The aim of the research was to study the effect of pre-sowing seed treatment with various trace elements in an ultrafine form on the yield of spring barley and millet. The work was conducted in 2024-2025 at the experimental fields of the FSBRI FRC BST RAS. Seeds of grain and cereal crops were treated with a suspension of ultrafine particles of trace elements in a polymer coating before sowing: Zn ($10^{-3}\%$), Cu ($10^{-6}\%$) and Mn ($10^{-4}\%$). The consumption of the working solution was 10 ml/kg of seeds. Vegetation conditions were characterized in 2024 by increased precipitation with unstable temperature conditions, in 2025 by – high temperatures with uneven precipitation. On average over two years, the results of the study showed that the yield of millet was 2.82-3.74 t/ha, spring barley 1.67-1.83 t/ha. The maximum increase in millet productivity was achieved by treating seeds before sowing with ultrafine zinc particles (32.6% higher relative to the control) and manganese (32.0% higher relative to the control). The highest yield of barley was obtained on variants using zinc, the increase relative to the untreated variants was 8.4%, and seed treatment with manganese reduced the indicator by 4.8%. Thus, the research results have shown the prospects of using metal nanoparticles to increase the yield of the studied crops in the conditions of the Orenburg region.

Keywords: spring barley, seed millet, ultrafine particles, copper, zinc, manganese, pre-sowing treatment, yield

Acknowledgements: the work was supported in accordance to the plan of research works for 2022-2026 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2022-0015).

For citation: Novikova AA, Podlasova EYu, Boboshko EA. The effect of pre-sowing seed treatment on grain crop yields in the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(2):326-338. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-326>

Введение.

Актуальность и востребованность исследований, направленных на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях глобальных климатических изменений и растущего населения планеты, продолжает возрастать. Особую значимость приобретает поиск эффективных, экономически целесообразных и экологически безопасных методов воздействия на растения, способных обеспечить устойчивое развитие аграрного сектора. В условиях Оренбургского Предуралья, для которого характерны специфические почвенно-климатические условия – недостаток влаги, резкие перепады температур, засоленность почв, проблема повышения урожайности зерновых культур стоит особенно остро (Жижин В.Н. и др., 2012). Традиционные приемы интенсификации земледелия, такие как применение удобрений и химических средств защиты растений, зачастую имеют ограниченную эффективность и могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим перспективным направлением является разработка инновационных технологий, направленных на оптимизацию роста и развития растений на ранних стадиях, в частности, за счет стимуляции прорастания семян и развития корневой системы (Бесалиев И.Н. и др., 2021; Бесалиев И.Н. и Мироненко С.И., 2024; Козулина Н.С. и др., 2025).

Предпосевная обработка семян занимает одно из ключевых мест в системе агротехнических мероприятий, поскольку она позволяет создать благоприятные условия для начального развития растений, повысить их стрессоустойчивость и, как следствие, обеспечить более высокий уровень продуктивности. В настоящее время активно развиваются нанотехнологии, предлагающие новые подходы к решению многих аграрных проблем. Использование наночастиц (НЧ) металлов в качестве стимуляторов роста растений открывает широкие перспективы благодаря их уникальным физико-химическим свойствам: высокой реакционной способности, большой удельной поверхности и способности проникать в клетки растений (Баят М. и др., 2022; Юрина Т.А. и др., 2021).

Актуальность использования наночастиц металлов в сельском хозяйстве обусловлена их потенциалом для повышения доступности питательных веществ, стимуляции роста и развития, а также потенциальной экологической безопасностью. По сравнению с традиционными солями микроэлементов НЧ обладают более высокой удельной поверхностью, что обеспечивает увеличенную площадь контакта с поверхностью семян и стимулирует более интенсивное взаимодействие с биологическими субстратами. Улучшенная биодоступность НЧ позволяет им проникать через клеточные мембраны и клеточные стенки, доставляя микроэлементы непосредственно в ткани растения, что значительно повышает эффективность их усвоения. Возможность контролируемого высвобождения микроэлементов из наночастиц обеспечивает их пролонгированное действие на протяжении всей вегетации, предотвращая как дефицит, так и возможную токсичность (Кодочилова Н.А. и др., 2023; El-Saadony MT et al., 2021a).

В контексте растительного организма цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn) играют жизненно важную роль в метаболизме растений: участвуют в фотосинтетическом процессе, регуляции ферментативных цепей и защите от окислительного стресса. Zn регулирует синтез ауксинов, процессы образования углеводов и синтеза белков. Его дефицит приводит к замедлению роста и нарушению синтеза РНК и ДНК. Cu входит в состав ферментов, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях, фотосинтезе и дыхании. Mn является активатором ферментов, участвует в фотосинтезе, метаболизме азота и синтезе хлорофилла; его дефицит проявляется в хлорозе и нарушении процесса фотосинтеза. В условиях Оренбургского Предуралья, почвы которого характеризуются пониженным содержанием этих микроэлементов, их дополнительное внесение, особенно в доступной для растений форме, может оказать существенное положительное влияние на продуктивность культур (Багринцева В.Н. и др., 2023).

Значение ячменя и проса в сельском хозяйстве неоспоримо. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – одна из наиболее распространенных мировых зерновых культур, отличающаяся относительной неприхотливостью, высокой урожайностью и ценными кормовыми, пищевыми и техническими свойствами. Зерно ячменя широко используется в питании человека и как корм для сельскохозяйственных животных. Яровые формы ячменя хорошо адаптируются к умеренно засушливым условиям степной зоны. Просо посевное (*Panicum miliaceum* L.) – ценная крупяная культура, отличающаяся высокой засухоустойчивостью и теплолюбивостью, что делает ее особенно перспективной для выращивания в условиях степной зоны. Зерно проса богато крахмалом, белками, витаминами группы В и является источником биологически активных веществ, используется в пищевой промышленности и диетическом питании. В последние годы наблюдается рост интереса к просу как к культуре, способной обеспечивать стабильные урожаи даже в сложных климатических условиях (Филиппов Е.Г. и др., 2021; Камалеев Р.Д. и Новикова А.А., 2024). В Оренбургской области зерновые культуры, включая яровой ячмень и просо посевное, играют важную роль в продовольственном и кормовом секторах, но их потенциал урожая часто не полностью реализуется из-за неблагоприятных условий периода вегетации. Использование инновационных методов предпосевной обработки семян наночастицами микроэлементов (цинка, меди и марганца) может стать одним из ключевых факторов для решения данной проблемы (Новикова А.А. и др., 2022; Гулянов Ю.А. и др., 2022; Неверов А.А.

и др., 2023). Таким образом, повышение урожайности и улучшение качества зерна ярового ячменя и проса посевного в условиях Оренбургского Предуралья представляется актуальной задачей.

Цель исследований.

Изучение влияния предпосевной обработки семян ярового ячменя и проса посевного наночастицами цинка, меди и марганца на урожайность в условиях Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. Ячмень яровой сорта Лекарь 2, просо посевное сорта Оренбургское 27.

Характеристика территорий, природно-климатические условия. Полевые исследования проводили в 2024-2025 гг. на опытных полях ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Почвы опытного участка – чернозем южный остаточнолуговатый карбонатный малогумусный слабосмытый. Анализ пахотного слоя выявил содержание гумуса 5,42-5,49 %. (ГОСТ 26213-2021) Общее количество азота составляло 0,23-0,26 % (ГОСТ 58596-2019), подвижного фосфора – 26,3-34,0 мг/кг, обменного калия – 220,0-270,5 мг/кг (ГОСТ 26205-91), кислотность почвенного раствора – 6,3-6,7 (ГОСТ 26483-85).

Погодные условия 2024 года отличались повышенной влажностью и резкими перепадами температур. Май характеризовался среднесуточной температурой в +12,3 °С, что на 3 °С ниже нормы. Выпало 39 мм осадков, значительно превысив норму (27 мм). После прохладного мая, первая и вторая декады июня обусловили аномальную жару: среднесуточная температура достигала +22,4 и +26,9 °С (превышение нормы на 3,5 и 6,1 °С) соответственно. Третья декада июня отметилась резким похолоданием до +17,9 °С и обильными ливнями (57 мм), что более чем в 4 раза превысило норму. В первой декаде июля вновь наблюдалась жара (+24,5 °С). Со второй декады июля и до конца августа температурный режим оставался стабильным и в пределах нормы, с периодическими осадками. Общее количество осадков за май-август 2024 года составило 204 мм (при норме – 128 мм). Превышение наблюдалось ежемесячно: май – 39 мм (норма 27 мм), июнь – 71 мм (норма 37 мм), июль – 53 мм (норма 39 мм), август – 41 мм (норма 32 мм).

Метеорологические условия 2025 года характеризовались повышенными температурами и неравномерным распределением осадков. Среднесуточная температура мая варьировала от +15 до +18,5 °С, с пиком в третьей декаде (+33 °С). Июнь, июль и август поддерживали среднесуточную температуру +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. Опыт закладывали в трехкратной повторности, учетная площадь делянки – 32 м², расположение вариантов – последовательное. Схема опыта включала изучение предпосевной обработки семян яровых зерновых культур – ячмень и просо – микроэлементами цинка, меди и марганца. Агротехнические мероприятия выполняли по рекомендованным для центральной и восточной зон Оренбургской области зональным технологиям (Гречишкина О.С. и др., 2022; Камалеев Р.Д. и др., 2022). Перед посевом семена обрабатывали суспензией наночастиц Zn, Cu и Mn в полимерном покрытии. Препараты цинка, марганца 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. Гидродинамический диаметр частиц меди в суспензии был равен 616 (32,6 %) и 103,7 (67,4 %) нм, у цинка – 570 (100 %) нм; у марганца – 222,5 (100 %) нм. Дзета-потенциал характеризовался монодисперсностью с одним пиком у цинка на 31,7 мВ, у меди – на 28,1 мВ. У марганца дзета-потенциал составил 18,6 мВ.

Приготовление препаративной формы включало получение водной суспензии металлических порошков. Это достигалось с помощью ультразвукового дезинтегратора, работавшего в режиме 0,5 А при частоте 44 кГц. Циклы обработки (30 с) чередовались с перерывами (30 с) и охлаждением льдом, весь процесс проходил в три этапа. Далее полученную суспензию интегрировали в раствор полимера. Полимерная матрица состояла из 1 % Na₂-карбоксиметилцеллюлозы, 2,5 % полиэтиленгликоля-400 и 0,037 % Na₂-ЭДТА. Были подготовлены три вида препаратов: с Zn (10⁻³ %), Cu (10⁻⁶ %) и Mn (10⁻⁴ %). Расход рабочего раствора составлял 10 мл/кг семян. Обработка семенного материала осуществлялась однократно методом дражирования.

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), комбайн Сампо-130 (Sampo-Rosenlew Oy, Финляндия), 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.

В 2024 году, в условиях избыточной влажности и температурных стрессов, предпосевная обработка семян ярового ячменя ультрадисперсными частицами меди привела к увеличению урожайности на 1,3 ц/га (6,8 %) в сравнении с контролем (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерновых культур в зависимости от предпосевной обработки семян за 2024-2025 г, т/га

Table 1. Yield of grain crops depending on pre-sowing seed treatment to 2024-2025, т/ha

Вариант предпо- севной обработки семян/ <i>Option of pre-sowing seed treatment</i>	Культура / <i>Grain culture</i>					
	яровой ячмень / <i>Hordeum vulgare</i>			просо посевное / <i>Panicum miliaceum</i>		
	кон- троль/ <i>control</i>	обработка / <i>processing</i>	± к контро- лю/ ± <i>to control</i>	кон- троль/ <i>control</i>	обработка / <i>processing</i>	± к кон- тролю/ ± <i>to control</i>
2024						
Медь / <i>Cu</i>	1,77	1,90	0,13	2,90	3,56	0,66
Цинк / <i>Zn</i>	1,77	2,06	0,29	2,90	4,04	1,14
Марганец / <i>Mn</i>	1,77	1,65	-0,12	2,90	3,95	1,05
НСР ₀₅ / <i>NSD₀₅</i>	0,032			0,038		
2025						
Медь / <i>Cu</i>	1,39	1,45	0,06	1,83	2,08	0,25
Цинк / <i>Zn</i>	1,39	1,42	0,03	1,83	2,53	0,70
Марганец / <i>Mn</i>	1,39	1,33	-0,06	1,83	2,58	0,75
НСР ₀₅ / <i>NSD₀₅</i>	0,031			0,041		
2024-2025						
Медь / <i>Cu</i>	1,58	1,67	0,09	2,36	2,82	0,46
Цинк / <i>Zn</i>	1,58	1,74	0,16	2,36	3,29	0,93
Марганец / <i>Mn</i>	1,58	1,49	-0,09	2,36	3,26	0,90
НСР ₀₅ / <i>NSD₀₅</i>	0,031			0,040		

Предпосевная обработка семян цинком продемонстрировала более высокую эффективность, что выразилось в приросте урожайности на 0,29 т/га (15,3 %). В отличие от нее обработка семян марганцем сопровождалась снижением урожайности на 0,12 т/га (6,3 %).

Просо посевное, характеризующееся более высокой засухоустойчивостью по сравнению с другими зерновыми культурами, продемонстрировало положительную реакцию на все виды предпосевной обработки микроэлементами. Прибавка урожайности отмечена на всех вариантах с внесением микроудобрений.

Обработка семян перед посевом медью обеспечила прирост урожайности проса посевного на 0,67 т/га (18,8 %), цинком – на 1,14 т/га (32,0 %), марганцем – на 1,05 т/га (29,5 %). Все полученные приросты урожайности являлись статистически значимыми.

В условиях стресса от жары и водного дефицита 2025 года, положительный эффект от обработок для ячменя стал менее выражен. Абсолютные приросты урожайности не превышали 5 % от контроля. При этом прибавка при внесении цинка оказалась статистически незначимой на уровне 95 % вероятности и составила при обработке семян НЧ меди 0,06 т/га (4,2 %), а НЧ цинка – 0,03 т/га (2,1 %). Использование марганца для предпосевной обработки семян вновь привело к снижению данного показателя (на 0,06 т/га, или 4,2 %).

Несмотря на неблагоприятные климатические условия (сильная жара, неравномерные осадки), просо посевное показало заметное увеличение урожайности в зависимости от предпосевной обработки семян. Обработка цинком (+33,7 % к контролю) и марганцем (+36,1 % к контролю) обеспечила особенно высокие результаты, превосходящие показатели 2024 года, даже на фоне общего снижения урожайности.

Анализ урожайности за два года подтверждает общие тенденции, но также позволяет оценить стабильность эффекта обработок. Так, цинк остается наиболее эффективным микроэлементом при использовании на яровом ячмене. Прибавка урожайности относительно необработанного варианта составила 0,16 т/га или 8,4 %. Использование меди для предпосевной обработки семян имело аналогичную направленность, увеличивая продуктивность на 5,3 %. Применение Mn в предпосевной обработке семян на яровом ячмене также стабильно приводил к снижению изучаемого показателя, в среднем за два года на 0,09 т/га или 4,8 % относительно контроля.

Высокая отзывчивость проса посевного на все три вида обработок подтверждается средними показателями за два года. Так, в результате предпосевной обработки семян НЧ цинка, марганца и меди прибавка урожайности относительно контроля составила 9,2 ц/га (32,6 %), 9,0 ц/га (32,0 %) и 4,6 ц/га (16,3 %). При этом относительная прибавка от цинка и марганца даже выше в 2025 году, когда условия вегетации были более жесткими.

Обсуждение полученных результатов.

Настоящее исследование показало, как именно предпосевная обработка семян цинком, медью и марганцем сказывается на урожайности ярового ячменя и проса посевного. Полученные тенденции согласуются с данными отечественных и зарубежных авторов, что позволяет глубже интерпретировать эффект применения данных микроэлементов.

Анализ полученных результатов показал наличие различий в отзывчивости ярового ячменя и проса посевного на предпосевную обработку элементами в ультрадисперсной форме. Просо посевное в целом показывало более устойчивый и заметный положительный отклик на предпосевную обработку семян микроэлементами. Это может быть связано с его природной устойчивостью к неблагоприятным факторам и, возможно, более высокой потребностью в определенных микроэлементах для эффективного функционирования метаболических процессов в стрессовых условиях (Shen J et al., 2024; Thudi M et al., 2021; Скороходов В.Ю., 2021).

Высокая эффективность цинка, отмеченная в наших исследованиях как для ярового ячменя, так и для проса посевного, согласуется с широко известной ролью этого элемента. Цинк является кофактором множества ферментов, участвующих в росте, развитии и стрессоустойчивости растений. Он необходим для синтеза ауксинов, регуляторов роста и играет важную роль в формировании мембран и защите клеток от окислительного стресса (El-Saadony MT et al., 2021b). Исследования ряда авторов также регулярно показывают положительное влияние цинковых обработок на урожайность различных зерновых культур, особенно в условиях дефицита элемента в почве или при повышенных стрессовых нагрузках. Так, наночастицы на основе цинка усиливали ферментативные реакции пероксидазы, каталазы, аскорбатпероксидазы и полифенолоксидазы, а также повышали содержание пролина в кукурузе и сое (Verma KK et al., 2022). Обработка растений проса посевного методом внекорневой подкормки приводила к увеличению содержания зеленых пигментов в листьях, растворимого белка и повышению урожайности. Применение этого микроэлемента увеличивало высоту растения (на 15 %), длину корней (на 4 %), диаметр корней (на 24 %), содержание белка в листьях (на 39 %), сухую массу (на 13 %) и активность антиоксидантных ферментов, таких как фосфатаза (77 %), щелочная фосфатаза (62 %), и дегидрогеназа (21 %), с улучшением урожайности сельскохозяйственных культур до 38 % не только в оптимальных условиях (Asif M et al., 2024), но и в условиях абиотического стресса (Verma KK et al., 2022).

Предпосевная обработка семян медью в наших опытах неизменно приводила к положительным, хотя и менее значительным, чем у цинка, изменениям урожайности. Это отражает роль меди в фотосинтезе, дыхании и других ключевых физиологических процессах. Аналогичный стабильный положительный эффект от предпосевной обработки семян медью, наблюдаемый в наших исследованиях, получен в работах Asif M с коллегами (2024). В них медь рассматривается как элемент, способствующий повышению устойчивости растений к неблагоприятным условиям.

Дифференцированное влияние марганца, полученное в исследовании, заслуживает отдельного внимания. Наряду со значительным положительным эффектом на просо посевное, особенно в стрессовых условиях, у ярового ячменя наблюдалась тенденция к снижению урожайности. Это может быть связано с несколькими факторами: избыточное поступление марганца, его высокая подвижность в почве, а также возможное нарушение баланса с другими элементами при определенных условиях могут приводить к фитотоксичности (Bratovic A et al., 2023). В то же время положительное влияние марганца на засухоустойчивые культуры, такие как просо, может быть обусловлено его ролью в активации антиоксидантных систем и способности растения справляться с окислительным стрессом, вызванным жарой и засухой (Asif M et al., 2024).

Стрессовые условия 2025 года, в целом, снижали абсолютные прибавки урожайности у ярового ячменя, но при этом подчеркнули высокую эффективность цинка и марганца для проса посевного. Это свидетельствует о том, что в условиях повышенной нагрузки на растение, потребность в определенных микроэлементах для поддержания физиологических процессов может возрасти, что и обуславливало более выраженный эффект их применения (Shen J et al., 2024; Скороходов В.Ю., 2019).

Результаты данного исследования показывают избирательную роль микроэлементов в повышении урожайности различных культур. Цинк представляется универсальным элементом, способствующим повышению продуктивности как ярового ячменя, так и проса посевного, в то время как влияние марганца и меди может быть более специфичным и зависеть от вида культуры и условий окружающей среды. Наблюдаемая высокая отзывчивость проса посевного на микроэлементные обработки, особенно в стрессовых условиях, указывает на перспективность применения данных подходов для этой культуры. Полученные тенденции в целом хорошо согласуются с современными представлениями о роли микроэлементов в питании растений и их влиянии на стрессоустойчивость.

Заключение.

Проведенные исследования позволили установить, что предпосевная обработка семян наночастицами металлов (медь, цинк, марганец) оказывает статистически значимое влияние на урожайность ярового ячменя и проса посевного, при этом эффективность обработок дифференцируется в зависимости от культуры и климатических условий вегетационного периода.

Прибавка урожайности и отзывчивость на предпосевную обработку семян у проса посевного были значительно выше по сравнению с яровым ячменем. Средняя урожайность проса за два года на контроле составила 2,82 т/га, у ячменя – 1,67 т/га (контроль). У обеих культур в среднем за два года лучшие результаты отмечены при использовании цинка. Урожайность проса увеличилась на 0,92 т/га, а ячменя – 0,16 т/га. Применение ультрадисперсных частиц Mn оказалось эффективным только для проса, прибавка урожайности относительно контроля составила 32,0 %. Для ячменя обработка марганцем в среднем снизила урожайность на 4,8 %. Использование меди при предпосевной обработке семян оказала положительное, но менее выраженное влияние. У проса прибавка урожайности составила 16,3 %, для ячменя – 5,3 %.

Предпосевная обработка семян проса посевного наночастицами, в частности цинком и марганцем, является перспективным приемом повышения урожайности. На яровом ячмене использование цинка дало стабильно положительный, хотя и менее выраженный эффект. Предпосевная обработка семян ярового ячменя наночастицами марганца в данных условиях нецелесообразна. Согласно полученным данным, действие микроэлементов отличалось высокой вариабельностью, которая зависела от биологических особенностей культуры и внешних условий.

Список источников

1. Адаптация технологии защиты проса для получения высоких урожаев / В.Н. Жижин, А.П. Глинушкин, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. № 1(34). С. 35-37. [Zhizhin VN, Glinushkin AP, Zorov AA, Skorohodov VYu. Adaptatsiya tehnologii zashchity prosa dlya polucheniya vysokih urozhaev. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012;1(34):35-37. (In Russ.)].
2. Багринцева В.Н., Ивашенко 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, Ivashenko 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
3. Бесалиев И.Н., Мироненко С.И. Урожайность и качество зерна яровой твердой 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
4. Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Регер Н.С. Особенности формирования морфологических признаков проростков и активность ферментов яровой мягкой пшеницы на фоне индуцированного солевого стресса // 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
5. 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, Krut'kov AA, Gerasimova NS. Influence of mineral nutrition on the yield and quality of grain of the Beyskaya variety of spring wheat in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. Zemledeliye. 2025. No 1. P. 20-23. (In Russ.)].

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

6. 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

7. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 01.08.2022. М.: ФГБУ "ПСТ", 2021. 7 с. [GOST 26213-2021. Soils. Methods for determination of organic matter. Vved. 01.08.2022. Moscow: Federal State Budgetary Institution "PCT"; 2021:7 p. (*In Russ.*).

8. ГОСТ 58596-2019. Почвы. Методы определения общего азота. Введ. 01.01.2020. М.: Стандартиформ, 2019. 8 с. [GOST 58596-2019. Soils. Methods for determination of total nitrogen. Vved. 01.01.2020. Moscow: Standartinform; 2019:8 p. (*In Russ.*).

9. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. Введ. 01.07.93. М.: Издательство стандартов, 1992. 9 с. [GOST 26205-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAO. Vved. 01.07. 93. Moscow: Publishing House of Standards; 1992:9 p. (*In Russ.*).

10. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Введ. 01.07.1986. М.: Издательство стандартов, 1985. 6 с. [GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINAO method. Vved. 01.07.1986 Moscow: Publishing House of Standards; 1985:6 p. (*In Russ.*).

11. 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.*).

12. Камалеев Р.Д., Новикова А.А. Об эффективности оценки селекционного материала проса посевного на основе рекомбинационной способности // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 183-191. [Kamaleev RD, Novikova AA. On the efficiency of evaluation of seed millet breeding material based on recombination ability. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):183-191. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-107-3-183

13. 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

14. 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

15. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя / Е.Г. Филиппов, Р.Н. Брагин, А.А. Донцова, Д.П. Донцов // Таврический вестник аграрной науки.

2021. № 3(27). С. 172-179. [Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021;3(27):172-179. (In Russ.)]. doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179

16. Параметры адаптивности и гомеостатичности сортов ярового ячменя в условиях Оренбургской области / А.А. Новикова, О.С. Гречишкина, А.А. Емельянова и др. // Земледелие. 2022. № 8. С. 35-38. [Novikova AA, Grechishkina OS, Emelyanova AA, et al. Parameters of adaptability and homeostaticity of spring barley varieties in the Orenburg region. Zemledelie. 2022;8:35-38. (In Russ.)]. doi: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38

17. Положительное и отрицательное влияние наночастиц на всхожесть и прорастание семян пшеницы / М. Баят, С.М. Миславский, Е.А. Пакина, Т.С. Астарханова, М. Заргар // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 4(52). С. 36-43. [Bayat M, Mislavsky SM, Pakina EA, Astarkhanova TS, Zargar M. Positive and negative effects of nanoparticles on the germination and germination of wheat seeds. Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex. 2022;4(52):36-43. (In Russ.)]. doi: 10.52671/20790996_2022_4_36

18. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) / Ю.А. Гулянов, А.А. Чибилёв (мл.), А.А. Чибилёв, С.В. Левыкин // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 28-40. [Gulyanov YuA, Chibilyov (Jr) AA, Chibilyov AA, Levykin SV. Problems of steppe land use adaptation to anthropogenic and climatic changes (the Case of Orenburg Oblast). Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2022;86(1):28-40. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S258755662201006X

19. Просо посевное: значение, биологические особенности, технология возделывания в условиях Оренбургской области / Р.Д. Камалеев, И.Н. Бесалиев, Л.А. Мухитов, А.А. Зоров. Оренбург: ООО «Типография «Агентство Пресса», 2022. 17 с. [Kamaleev RD, Besaliev IN, Mukhitov LA, Zorov AA. Proso posevnoe: znachenie, biologicheskie osobennosti, tehnologiya vozdelivaniya v usloviyah Orenburgskoj oblasti. Orenburg: ООО «Типография «Агентство Пресса»; 2022:20 p. (In Russ.)].

20. Скороходов В.Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 55-59. [Skorokhodov V.Yu. Biological factor of humus reproduction and maintenance of soil fertility in conditions steppe zone of the southern Urals. Plodorodie. 2021;2(119):55-59. (In Russ.)]. doi:10.25680/s19948603.2021.119.15

21. Скороходов В.Ю. Урожайность ячменя в шестипольных севооборотах на чернозёмах южных степной зоны Южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5(79). С. 93-97. [Skorokhodov VYu. The yields of barley grown in six-field crop rotations on southern chernozems of the steppe zone of South Urals. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;5(79):93-97. (In Russ.)].

22. Яровой ячмень. Современные технологии возделывания в хозяйствах Оренбургской области (методические рекомендации) / О.С. Гречишкина, И.Н. Бесалиев, Л.А. Мухитов и др. Оренбург: ООО «Типография «Агентство Пресса», 2022. 20 с. [Grechishkina OS, Besaliev IN, Mukhitov LA, et al. Yarovoi yachmen. Sovremennie tekhnologii vozdelivaniya v khozyaistvakh Orenburgskoi oblasti (metodicheskie rekomendatsii). Orenburg: ООО «Типография «Агентство Пресса»; 2022:20 p. (In Russ.)].

23. Asif M, Asad MS, Safdar ME, Khan I, Akhtar N, Hassan MA, Moosa M, Baoyi Z, Almoallim HS, Ansari MJ. Agronomic bio-fortification of zinc improves the yield and quality of fodder oat. Journal of Ecological Engineering. 2024;25(6):153-163. doi:10.12911/22998993/187146

24. Bratovcic A, Hikal W, Mehdizadeh M, Ahl H, Omid A, Adetunji C, Osemwegie O, Beera A. Application of nanotechnology in agroecosystems: nanoparticles for improving agricultural production. Reviews in Agricultural Science. 2023;11:291-309. doi: 10.7831/ras.11.0_291

25. El-Saadony MT, Almoshadak AS, Shafi ME, Albaqami NM, Saad AM, El-Tahan AM, Desoky EM, Elnahal ASM, Almakas A, Abd El-Mageed TA, Taha AE, Elrys AS, Helmy AM. Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021a;28(12):7349-7359. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.08.032
26. El-Saadony MT, Saad AM, Najjar AA, et al. The use of biological selenium nanoparticles to suppress *Triticum aestivum* L. crown and root rot diseases induced by *Fusarium* species and improve yield under drought and heat stress. *Saudi J Biol Sci*. 2021b;28(8):4461-4471. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.04.043
27. Shen J, Xiao X, Zhong D, Lian H. Potassium humate supplementation improves photosynthesis and agronomic and yield traits of foxtail millet. *Scientific Reports*. 2024;14(1):9508. doi: 10.1038/s41598-024-57354-x
28. Thudi M, Palakurthi R, Schnable JC, et al. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture. *J Plant Physiol*. 2021;257:153351. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153351
29. Verma KK, Song XP, Joshi A, et al. Nanofertilizer possibilities for healthy soil, water, and food in future: an overview. *Front Plant Sci*. 2022;13:865048. doi: 10.3389/fpls.2022.865048

References

1. Zhizhin VN, Glinushkin AP, Zorov AA, Skorohodov VYu. Adapting millet protection technology to achieve high yields. *Bulletin of Orel State Agrarian University*. 2012;1(34):35-37.
2. Bagrintseva VN, Ivashenko 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
3. 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
4. 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
5. 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. *Crop Farming*. 2025;1:20-23. doi: 10.24412/0044-3913-2025-1-20-23
6. 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
7. State Standard 26213-2021. Soils. Methods for determination of organic matter. Implementation date 01.08.2022. Moscow: Federal State Budgetary Institution "PCT"; 2021:7 p.
8. State Standard 58596-2019. Soils. Methods for determination of total nitrogen. Implementation date 01.01.2020. Moscow: Standartinform, 2019:8 p.
9. State Standard 26205-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAО. Implementation date 01.07.93. Moscow: Publishing House of Standards, 1992:9 p.
10. State Standard 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINAО method. Date of implementation 01.07.1986. Moscow: Publishing House of Standards; 1985:6 p.
11. Dospekhov BA. Methodology of field experiment: (with the basics of statistical processing of research results). Stereotyped ed. Reprinted from the 5th ed., supplemented and revised. Moscow: Alyans; 2014:351 p.

12. Kamaleev RD, Novikova AA. On the efficiency of evaluation of seed millet breeding material based on recombination ability. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):183-191. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-183
13. 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
14. 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
15. Filippov EG, Bragin RN, Dontsova AA, Dontsov DP. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;3(27):172-179. doi: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179
16. Novikova AA, Grechishkina OS, Emelyanova AA, et al. Parameters of adaptability and homeostaticity of spring barley varieties in the Orenburg region. *Crop Farming*. 2022;8:35-38. doi: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38
17. Bayat M, Mislavsky SM, Pakina EA, Astarkhanova TS, Zargar M. Positive and negative effects of nanoparticles on the germination and germination of wheat seeds. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*. 2022;4(52):36-43. doi: 10.52671/20790996_2022_4_36
18. Gulyanov YuA, Chibilyov (Jr) AA, Chibilyov AA, Levykin SV. Problems of steppe land use adaptation to anthropogenic and climatic changes (the Case of Orenburg Oblast). *Bulletin of Russian Academy of Sciences. Geographical series*. 2022;86(1):28-40. doi: 10.31857/S258755662201006X
19. Kamaleev RD, Besaliev IN, Mukhitov LA, Zorov AA. Sown millet: importance, biological characteristics, and cultivation technology in the Orenburg region. Orenburg: Ltd. «Tipografija «Agentstvo Pressa»; 2022:20 p.
20. Skorokhodov V.Yu. Biological factor of humus reproduction and maintenance of soil fertility in conditions steppe zone of the southern Urals. *Land Fertility*. 2021;2(119):55-59. doi:10.25680/s19948603.2021.119.15
21. Skorokhodov VYu. The yields of barley grown in six-field crop rotations on southern chernozems of the steppe zone of South Urals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;5(79):93-97.
22. Grechishkina OS, Besaliev IN, Mukhitov LA, et al. Spring barley. Modern cultivation technologies in the farms of the Orenburg Region (methodological recommendations). Orenburg: Ltd. «Tipografija «Agentstvo Pressa»; 2022:20 p.
23. Asif M, Asad MS, Safdar ME, Khan I, Akhtar N, Hassan MA, Moosa M, Baoyi Z, Almoallim HS, Ansari MJ. Agronomic bio-fortification of zinc improves the yield and quality of fodder oat. *Journal of Ecological Engineering*. 2024;25(6):153-163. doi:10.12911/22998993/187146
24. Bratovic A, Hikal W, Mehdizadeh M, Ahl H, Omid A, Adetunji C, Osemwegie O, Bera A. Application of nanotechnology in agroecosystems: nanoparticles for improving agricultural production. *Reviews in Agricultural Science*. 2023;11:291-309. doi: 10.7831/ras.11.0_291
25. El-Saadony MT, Almoshadak AS, Shafi ME, Albaqami NM, Saad AM, El-Tahan AM, Desoky EM, Elnahal ASM, Almakas A, Abd El-Mageed TA, Taha AE, Elrys AS, Helmy AM. Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021a;28(12):7349-7359. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.08.032
26. El-Saadony MT, Saad AM, Najjar AA, et al. The use of biological selenium nanoparticles to suppress *Triticum aestivum* L. crown and root rot diseases induced by *Fusarium* species and improve yield under drought and heat stress. *Saudi J Biol Sci*. 2021b;28(8):4461-4471. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.04.043

27. Shen J, Xiao X, Zhong D, Lian H. Potassium humate supplementation improves photosynthesis and agronomic and yield traits of foxtail millet. *Scientific Reports*. 2024;14(1):9508. doi: 10.1038/s41598-024-57354-x
28. Thudi M, Palakurthi R, Schnable JC, et al. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture. *J Plant Physiol*. 2021;257:153351. doi: 10.1016/j.jplph.2020.153351
29. Verma KK, Song XP, Joshi A, et al. Nanofertilizer possibilities for healthy soil, water, and food in future: an overview. *Front Plant Sci*. 2022;13:865048. doi: 10.3389/fpls.2022.865048

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.

Екатерина Андреевна Бобошко, лаборант-исследователь, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 89033640130.

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.

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.

Ekaterina A Boboshko, laboratory researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: 89033640130

Статья поступила в редакцию 14.04.2026; одобрена после рецензирования 04.06.2026; принята к публикации 15.06.2026.

The article was submitted 14.04.2026; approved after reviewing 04.06.2026; accepted for publication 15.06.2026.