

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕНТОНИТА НА ПЕРВЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

¹А. В. Сумина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²В. И. Полонский, доктор биологических наук, профессор

¹О. В. Комарова, кандидат химических наук, доцент

¹Р. А. Чудогашева, студентка

¹Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова

²Красноярский государственный аграрный университет

E-mail: alenasumina@list.ru

Ключевые слова: пшеница, энергия прорастания, всхожесть, содержание антиоксидантов, бентонит, глицин, аспарагиновая кислота, лизин, гуматы.

Реферат. В современном растениеводстве особую актуальность приобретает разработка методов предпосевной обработки семян. Одним из перспективных направлений является использование модифицированных бентонитов в качестве стимуляторов роста и защитных агентов. Исследование проводилось на семенах яровой пшеницы, которые подвергались 5-минутной обработке в 0,5%-х водных суспензиях активированного природного минерала бентонита, модифицированного различными аминокислотами и гуматами. Контролем служили необработанные семена. Анализ полученных данных показал значительное влияние модифицированного бентонита на показатели энергии прорастания и всхожести семян. Значения энергии прорастания обработанных семян превышали контрольные на 10,0–21,9 %. Морфометрические исследования выявили существенное увеличение длины проростков, обработанных Na-глиной с глицином и лизином, и стимулирующий эффект данного состава на рост главного корня. Наилучшие результаты по развитию корневой системы продемонстрировали образцы, обработанные Na-глиной с аспарагином (4,3–4,6 корешков). Наибольшая концентрация антиоксидантов наблюдалась в системе с чистой Na-глиной (208,3 мг/100 г).

EFFECT OF SOLUTIONS BASED ON MODIFIED BENTONITE, FOR THE FIRST STAGES OF DEVELOPMENT OF SPRING WHEAT

¹A. V. Sumina, PhD in agriculture, Associate Professor

²V. I. Polonskiy, Doctor of Biological Sciences, Professor

¹O. V. Comarova, PhD in chemistry, Associate Professor

¹R. A. Chudogasheva, student

¹N.F. Katanov Khakass State University

²Krasnoyarsk State Agrarian University

Keywords: wheat, germination energy, germination, antioxidant content, bentonite, glycine, aspartic acid, lysine, humates.

Abstract. In modern crop production, the development of methods for pre-sowing seed treatment is of particular relevance. One promising area is the use of modified bentonites as growth promoters and protective agents. This study was conducted on spring wheat seeds that were treated for 5 minutes in 0.5% aqueous suspensions of the activated natural mineral bentonite modified with various amino acids and humates. Untreated seeds served as controls. Analysis of the obtained data showed a significant effect of modified bentonite on the indicators of germination energy and seed germination. Values of germination energy of treated seeds exceeded control ones by 10-21.9%. Morphometric studies revealed a significant increase in the length of seedlings treated with Na-clay with glycine and lysine, and their stimulating effect on the growth of the main root. The best results on the development of the root system were demonstrated by samples treated with Na-clay with asparagine (4.3-4.6 roots). The highest concentration of antioxidants was observed in the pure Na-clay system (208.3 mg/100 g).

Быстрая урбанизация, климатические аномалии, нехватка воды, ухудшение ее качества и растущий спрос на продовольствие требуют более рациональной организации системы сельскохозяйственного производства [1]. Особенно в части растениеводства, эффективность которого напрямую зависит от агроклиматических условий [2].

Недостаточное увлажнение и неравномерное распределение осадков в течение вегетационного периода является фактором, ограничивающим урожайность во многих странах [3]. Одним из быстро набирающих популярность среди сельхозпроизводителей вариантов решения данного вопроса является применение природных глин как компонентов состава для обработки семян [4, 5]. Использование этих минералов в качестве мелиорантов способствует улучшению физических и химических свойств почвы, снижает токсичность тяжелых металлов [6]. Кроме того, природные и модифицированные природные глины обладают селективностью в отношении основных питательных веществ, включая аммоний (NH_4^+), фосфат (PO_4^{3-}), нитрат (NO_3^-), калий (K^+) и сульфат (SO_4^{2-}), благодаря своей уникальной пористой структуре, которая уменьшает вымывание питательных веществ. При этом способность природных глин медленно высвобождать вещества полезна для оптимального использования питательных веществ на протяжении всего периода роста сельскохозяйственных культур [7].

Модификация природных глин, включающая предварительную обработку путем измельчения и просеивания, смешивание с натриевой солью, прокаливание и другие способы, приводит к изменению размера пор и площади поверхности, тем самым увеличивая поглощение различных ионов [8]. Внесение глин в почву в сочетании с химическими удобрениями снижает вымывание и улетучивание последних, замедляет процесс минерализации и поступление питательных веществ в почвенный раствор [9].

Одним из вариантов использования природных глин является применение их в качестве компонента в составе для предпосевной обработки семян [4, 10]. Например, использование Са-бентонита в сочетании с навозом и фосфатом для обработки семян кукурузы, проса, сорго, маша и арахиса позволило увеличить их урожайность в сравнении с контролем (без обработки) на 14–82 %, 22–42 %, 23–42 %, 32–42 % и 4–26 % соответственно [11].

Цель работы заключалась в анализе влияния предпосевной обработки авторскими составами на основе модифицированного бентонита на начальные этапы роста и устойчивость яровой пшеницы.

В ходе научного исследования был использован посевной материал яровой пшеницы сорта Алтайская 75, культивируемый в Алтайском районе Республики Хакасия в 2024 г.

В рамках изучения воздействия предварительной обработки семян на их всхожесть и морфометрические характеристики были применены следующие экспериментальные системы 0,5%-й концентрации: водный раствор с активированной глиной в натриевой форме бентонита; модифицированный бентонит с комплексом добавок, включающим глицин, аспарагиновую кислоту, лизин и гуматы (щелочной экстракт химически модифицированного каменного угля).

Для приготовления рабочего раствора бентонитовой суспензии, используемой при замачивании семян и основанной на бентоните, активированном натрием, применялась следующая методика.

В качестве исходного материала использовалась карьерная бентонитовая глина, характеризующаяся влажностью до 6,5 % и размером частиц не более 1 мм. На первом этапе осуществлялась её последовательная обработка карбонатом натрия в комнатных условиях. Компоненты использовались в следующем процентном соотношении: бентонит и карбонат натрия составляли 89 % и 1,8 % соответственно, оставшуюся часть составляла вода.

После этого полученный глиняный порошок подвергался сушке при температуре 110 °С в течение 6 ч. На следующем этапе к нему добавляли кристаллическую аминокислоту в пропорции: бентонит и аминокислота составляли 45 % и 4,5 % соответственно,

остальное – вода. Смесь выдерживалась при комнатной температуре 24 ч., после чего проводилась сушка при 70 °С в течение 4 ч.

На заключительном этапе выполнялась подготовка рабочего раствора путем смешивания полученного порошка с дистиллированной водой в пропорции 0,5 % бентонита (активированного или модифицированного) и 99,5 % воды, что соответствовало 0,5%-му составу рабочего раствора.

В рамках предпосевной подготовки семена в количестве 100 шт. в трехкратной повторности замачивались в 0,5%-м экспериментальном растворе на протяжении 5 мин. Указанная концентрация вещества продемонстрировала значительное повышение всхожести семян [12]. После завершения обработки все образцы просушивались до уровня стандартной влажности, необходимой для хранения зерна, и помещались в растительни для проращивания. Для сравнения были использованы контрольные образцы необработанного зерна.

Оценка энергии прорастания и всхожести проводилась согласно требованиям ГОСТ 10968–88 «Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания» [13]. В дополнение измерялись линейные параметры проростков.

Для определения содержания водорастворимых биологически активных веществ с восстановительными свойствами (антиоксидантов) в пророщенном зерне пшеницы проводилось измерение антиокислительной активности с пересчётом на кверцетин [14]. Каждый результат усреднялся на основе трех независимых измерений. Статистический анализ полученных данных осуществлялся с использованием программного обеспечения MS Excel.

Исследования проведены на базе лабораторий кафедр химии и геоэкологии, биологии Института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова, а также филиала Российского сельскохозяйственного центра по Республике Хакасия.

Таблица демонстрирует результаты исследования, касающиеся показателей энергии прорастания и всхожести зерен яровой пшеницы после их обработки. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о значительном влиянии использованных модификаций на оба исследуемых параметра. Практически во всех экспериментальных вариантах наблюдались существенные различия как в показателях энергии прорастания, так и в значениях всхожести в сравнении с контролем. Это указывает на заметное воздействие предпосевной обработки на качественные характеристики прорастания зерна яровой пшеницы. Так, значения энергии прорастания обработанных зерен пшеницы были на 10,0–21,9 % выше, чем у контроля.

Таблица

Значения энергии прорастания и всхожести яровой пшеницы при различных вариантах предпосевной обработки зерна

The value of the germination energy and germination of spring wheat in various variants of pre-sowing grain processing

Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	73,2 ± 0,3	81,6 ± 0,2
Na ⁺ -бентонит	94,8 ± 0,2	97,4 ± 0,3
Na ⁺ -бентонит + глицин	94,6 ± 0,2	94,8 ± 0,3
Na ⁺ -бентонит + аспарагиновая кислота	83,2 ± 0,5	84,7 ± 0,6
Na ⁺ -бентонит + лизин	92,1 ± 0,2	94,5 ± 0,3
Na ⁺ -бентонит + гуматы	95,1 ± 0,5	97,3 ± 0,2

Анализ морфометрических параметров показал неоднозначный эффект применения водных растворов на основе бентонита для предпосевной обработки зерна яровой пшеницы (рис. 1–3).

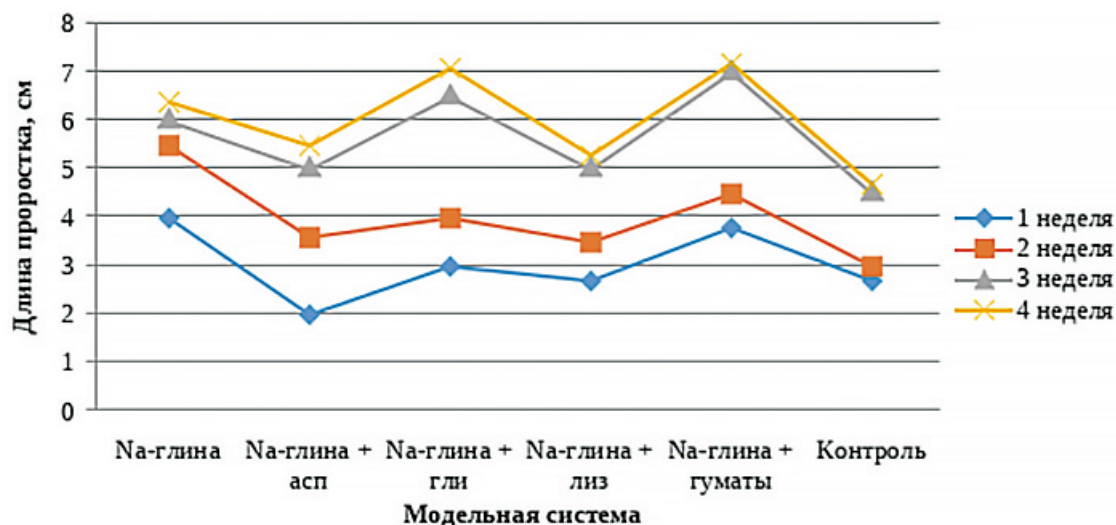


Рис. 1. Длина проростков яровой пшеницы на начальных этапах прорастания при различных вариантах предпосевной обработки зерна

Fig. 1. The length of spring wheat seedlings at the initial stages of germination in various variants of pre-sowing grain processing

Так, увеличение длины проростка, обработанного авторским составом на основе бентонита с добавлением лизина, регистрировалось в течение всего эксперимента, и в зависимости от времени проращивания составило от 16 % (через 7 дней) до 201 % (28 дней) в сравнении с контролем. Образцы, обработанные составом с добавлением аспарагина, напротив, на 1 неделе имели более низкие значения, чем у контроля.

Аналогичная ситуация наблюдалась при измерении длины наиболее развитого корня (рис. 2). Максимальные численные значения данного параметра были отмечены у образцов пшеницы, обработанных растворами на основе модифицированной глины с добавлением глицина и лизина.

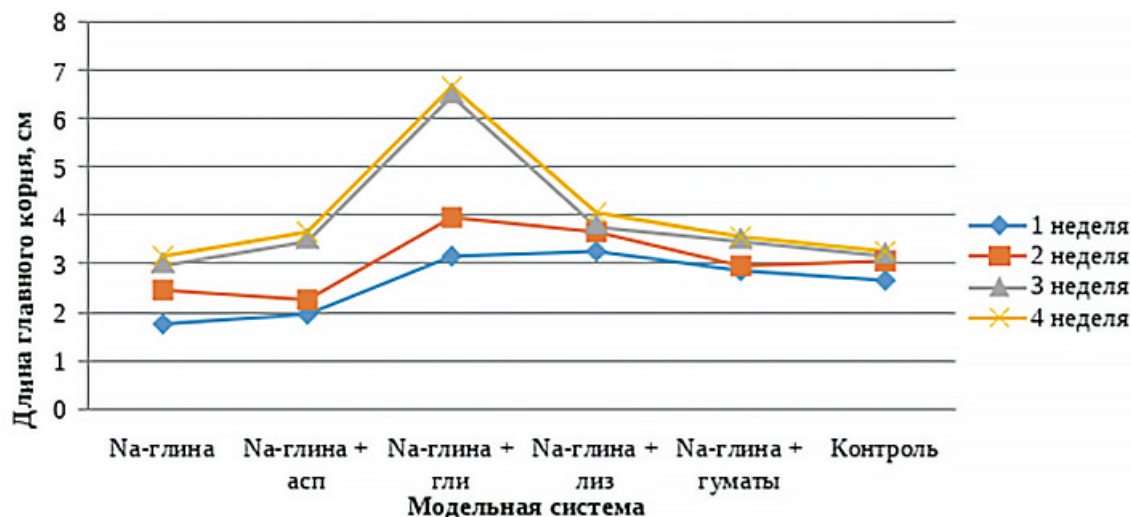


Рис. 2. Длина наиболее развитого корня проростков на начальных этапах прорастания яровой пшеницы при различных вариантах предпосевной обработки зерна

Fig. 2. The length of the most developed root of seedlings at the initial stages of germination of spring wheat in various variants of pre-sowing grain processing

Развитая корневая система является ключевым фактором для обеспечения высокой урожайности и устойчивости яровой пшеницы к различным неблагоприятным условиям. На основе полученных данных (рис. 3) можно видеть, что количество корешков разнится в зависимости от длительности проращивания и применённого предпосевного состава. Наилучшие показатели демонстрирует образец Na-глина + аспарагин, который показывает стабильно высокие значения на всех этапах измерения (4,3–4,6 шт.). Образцы с добавлением глицина и лизина демонстрировали промежуточные значения: 3,1–4,2 шт. и 3,2–3,6 шт. соответственно.

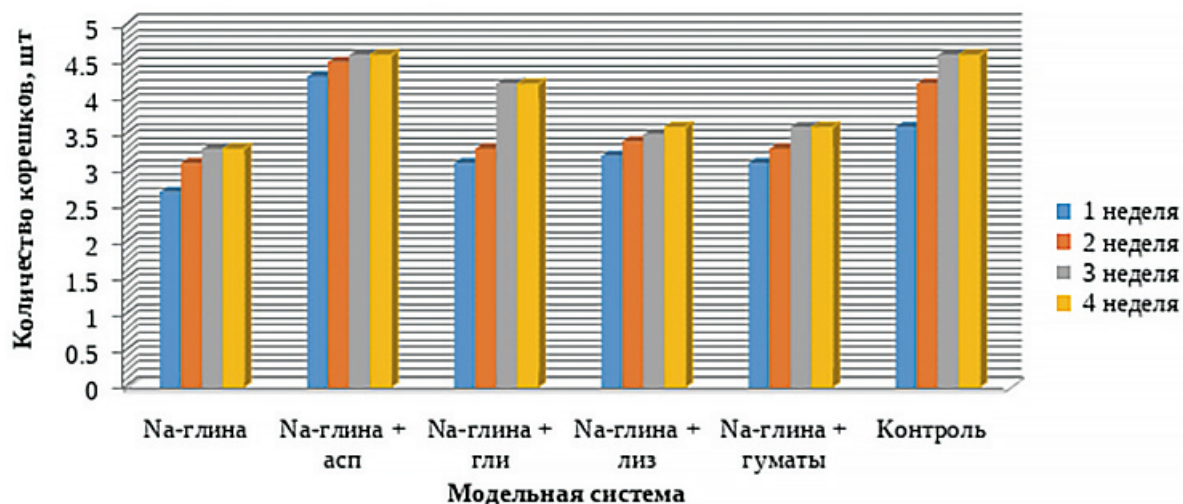


Рис. 3. Количество корешков яровой пшеницы на начальных этапах прораствания при различных вариантах предпосевной обработки зерна

Fig. 3. The number of spring wheat roots at the initial stages of germination in various variants of pre-sowing grain processing

Контрольный вариант также проявил постепенное увеличение рассматриваемых показателей от 3,6 до 4,6 шт. В целом можно наблюдать следующую тенденцию: добавление исследуемых аминокислот к активированному бентониту оказывает неоднозначное влияние на морфометрические показатели на первых этапах развития и роста яровой пшеницы. При этом, положительный эффект можно связать с тем, что на стартовых этапах роста питание растений осуществляется по гетеротрофному типу, при этом аминокислоты оказывают стимулирующий эффект, за счёт чего происходит более эффективное прохождение начальных синтетических реакций. И наоборот, угнетающий эффект некоторых аминокислот на первых этапах роста пшеницы можно связать либо с особенностями данной сельскохозяйственной культуры, либо с особенностями сорта, либо с конкретной фазой развития растения.

Как известно, с содержанием антиоксидантов в зерне положительно связан такой показатель, как устойчивость растений к стрессовым факторам. Поэтому на следующем этапе было измерено содержание антиоксидантов в проростках пшеницы через 28 дней после начала проращивания. На рисунке 4 представлены данные о количестве природных веществ с антиоксидантной активностью, способных растворяться в воде и восстанавливать окислительные процессы, которые были измерены в проросших зернах пшеницы. Для удобства сравнения все показатели были приведены к стандартному значению кверцетина.

Анализ данных рисунка 4 показывает следующее распределение содержания водорастворимых антиоксидантов (ОАО) в модельных системах. Максимальная концентрация наблюдалась в системе Na-глина (208,3 мг/100 г), второе место у системы Na-глина + асп (176,9 мг/100 г), минимальные значения данного показателя отмечены у контрольного варианта. Таким об-

разом, наиболее эффективной системой с точки зрения содержания антиоксидантов в проростках является чистая Na-глина, а наименее эффективной – система с добавлением глицина.

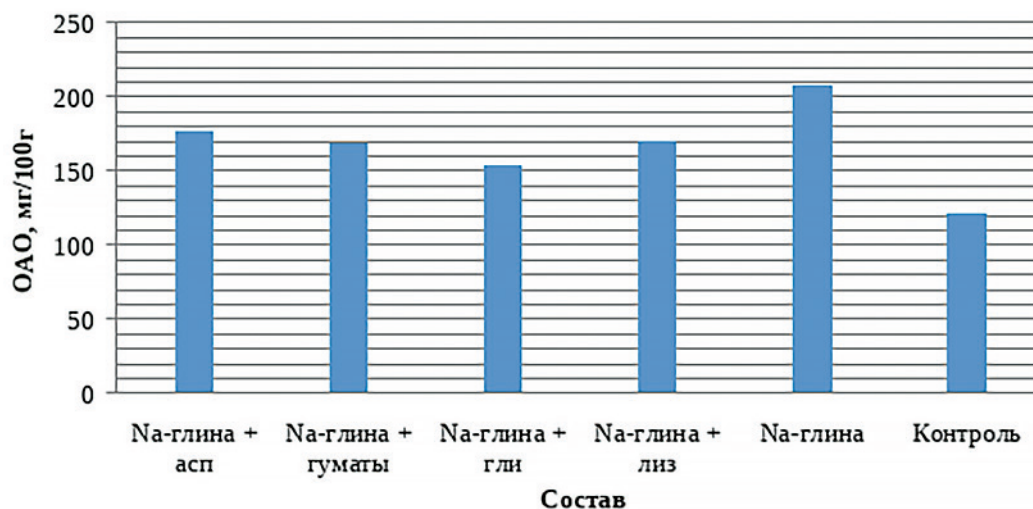


Рис. 4. Суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцитин в пророщенном зерне пшеницы в различных вариантах предпосевной обработки

Fig. 4. The total content of antioxidants in terms of quercetin in sprouted wheat grain in various variants of pre-sowing treatment

Основываясь на полученных данных, можно предположить, что различия в эффективности использования водных растворов на основе бентонита, аминокислот и гуматов связаны с разными факторами. В частности размером и структурой добавок и их способностью взаимодействовать с бентонитовой глиной. Так, аспарагин и лизин имеют относительно крупные молекулы, поэтому они могут формировать комплексы с глиной, сохраняя антиоксидантные свойства. Кроме того, зарегистрированный факт можно связать со стабильностью образующихся комплексов и собственной антиоксидантной активностью компонентов. В этой связи можно предположить, что аспарагин и лизин образуют менее стабильные комплексы, или способны участвовать в побочных реакциях, снижающих антиоксидантную активность.

Проведённые исследования позволяют сделать ряд выводов.

1. Показано неоднозначное влияние предпосевной обработки семян водными растворами, содержащими активированный и модифицированный бентонит с добавлением различных аминокислот и гуматов, на рост проростков и корней яровой пшеницы в первые этапы вегетации. Стимулирующий эффект может быть обусловлен гетеротрофным типом питания на начальных этапах роста, при котором аминокислоты, входящие в состав модификаторов, усиливают синтетические процессы.

2. Наилучшие результаты по развитию корневой системы в условиях опыта демонстрирует водный раствор на основе комбинации Na-глины с аспарагином.

3. Предпосевная обработка зерна яровой пшеницы водным раствором (0,5 %) на основе активированной бентонитовой глины обеспечивает максимальную антиоксидантную активность проростков, что указывает на повышение устойчивости растений к стрессовым факторам. Это особенно важно для обеспечения стабильного урожая в контрастных условиях выращивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Seed treatment potential for the improvement of lucerne seed performance and early field growth* / O. Szabó, M. Pisarčík, Z. Hrevušová, J. Hakl // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13, No. 9. – С. 2207.

2. *Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety* / M. Mondal, B. Biswas, S. Garai [et al.] // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, No. 3. – С. 448.
3. *Pagano A., Macovei A., Balestrazzi A. Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research* // *Plant Cell Reports*. – 2023. – Vol. 42, No. 4. – С. 657–688.
4. *Влияние предпосевной обработки зерновых культур модифицированным аминокислотами бентонитом на их посевные качества* / А. В. Сумина, В. И. Полонский, О. В. Комарова [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. – 2024. – № 11. – С. 86–96.
5. *Использование органоминеральных суспензий и их наноструктурных аналогов при выращивании овса* / И. М. Суханова, А. Х. Яппаров, Р. Р. Газизов [и др.] // *Владимирский земледелец*. – 2019. – № 2 (88). – С. 15–17.
6. *Ebrazi B., Banihabib M. E. Simulation of Ca²⁺ and Mg²⁺ removal process in fixed-bed column of natural zeolite* // *Desalination and Water Treatment*. – 2015. – Vol. 55, No. 4. – С. 1116–1124.
7. *Liang Z., Ni J. Improving the ammonium ion uptake onto natural zeolite by using an integrated modification process* // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 166. – No. 1. – P. 52–60.
8. *Omar O. L., Ahmed O. H., Muhamad A. N. Minimizing ammonia volatilization in waterlogged soils through mixing of urea with zeolite and sago waste water* // *International Journal of Physical Sciences*. – 2010. – Vol. 5, No. 14. – С. 2193–2197.
9. *Seed pre-sowing treatments and essential trace elements application effects on wheat performance* / M. Janmohammadi, M. Mohamadzadeh-Alghoo, N. Sabaghnia // *Acta agriculturae Slovenica*. – 2023. – Vol. 119, No. 1. – С. 1–10.
10. *Salim M. H., Todd G. W. Seed Soaking As A Pre-Sowing, Drought-Hardening Treatment in Wheat and Barley Seedlings 1* // *Agronomy Journal*. – 1968. – Vol. 60, No. 2. – С. 179–182.
11. *Higher cereal and legume yields using Ca-bentonite on sandy soils in the dry eastern Uganda: increased productivity versus profitability* / O. Semalulu, P. Elobu, S. Namazzi // *Agricultural Research Journal*. – 2017. – Vol. 5, No. 2. – С. 140–147.
12. *Кравец А. В., Винникова В. А. Влияние водных вытяжек из глинистых минералов на посевные качества семян овса* // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2018. – № 1. – С. 149–152.
13. *ГОСТ 10968–88 Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания*. – М.: Стандартинформ, 2009. – 4 с.
14. *Способ определения антиокислительной активности*: пат. 2170930 С1 РФ. № 2000111126/14, МПК G01N 33/50, G01N 33/52; заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001.

REFERENCES

1. Szabó O., Pisarčík M., Hrevušová Z., Hakl J., *Seed treatment potential for the improvement of lucerne seed performance and early field growth*, *Agronomy*, 2023, Vol. 13, No. 9, P. 2207.
2. Mondal M., Biswas B., Garai S., Sarkar S., Banerjee H., Brahmachari K., Bandyopadhyay P. K., Maitra S., Brestic M., Skalicky M., Ondrisik P., Hossain A., *Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety*, *Agronomy*, 2021, Vol. 11, No. 3, P. 448.
3. Pagano A., Macovei A., Balestrazzi A. *Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research*, *Plant Cell Reports*, 2023, Vol. 42, No. 4, pp. 657–688.
4. Sumina A. V., Polonskij V. I., Komarova O. V., Petrova E. N., Chudogasheva R. A., *Vliyanie predposevnoj obrabotki zernovykh kul'tur modifitsirovannym aminokislotami bentonitom na ih posevnye kachestva*, *Vestnik KrasGAU*, 2024, No. 11, pp. 86–96. (In Russ.)
5. Suhanova I. M., Yapparov A. H., Gazizov R. R., Bikkinina L. M.-H., Il'yasov M. M., *Ispol'zovanie organomineral'nykh suspenzij i ih nanostrukturnykh analogov pri vyrashchivanii ovsa*, *Vladimirskij zemledec*, 2019, No. 2 (88), pp. 15–17. (In Russ.)
6. Ebrazi B., Banihabib M. E. *Simulation of Ca²⁺ and Mg²⁺ removal process in fixed-bed column of natural zeolite*, *Desalination and Water Treatment*, 2015, Vol. 55, No. 4, pp. 1116–1124.
7. Liang Z., Ni J. *Improving the ammonium ion uptake onto natural zeolite by using an integrated modification process*, *Journal of Hazardous Materials*, 2009, Vol. 166, No. 1, pp. 52–60.

8. Omar O. L., Ahmed O. H., Muhamad A. N. Minimizing ammonia volatilization in waterlogged soils through mixing of urea with zeolite and sago waste water, *International Journal of Physical Sciences*, 2010, Vol. 5, No. 14, pp. 2193–2197.
9. Janmohammadi M., Mohamadzadeh-Alghoo M., Sabaghnia N. Seed pre-sowing treatments and essential trace elements application effects on wheat performance, *Acta agriculturae Slovenica*, 2023, Vol. 119, No. 1, pp. 1–10.
10. Salim M. H., Todd G. W. Seed Soaking As A Pre-Sowing, Drought-Hardening Treatment in Wheat and Barley Seedlings 1, *Agronomy Journal*, 1968, Vol. 60, No. 2, pp. 179–182.
11. Semalulu O., Elobu P., Namazzi S. Higher cereal and legume yields using Ca-bentonite on sandy soils in the dry eastern Uganda: increased productivity versus profitability, *Agricultural Research Journal*, 2017, Vol. 5, No. 2, pp. 140–147.
12. Kravec A. V., Vinnikova V. A., *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2018, No. 1, pp. 149–152. (In Russ.)
13. *GOST 10968–88 Zerno. Metody opredeleniya energii prорastaniya i sposobnosti prорastaniya* (GOST 10968–88 Grain. Methods for determination of germination energy and germination ability.), Moscow: Standartinform, 2009, 4 p.
14. Sposob opredeleniya antiokislitel'noj aktivnosti: pat. 2170930 C1 RF, No. 2000111126/14, MPK G01N 33/50, G01N 33/52, zayavl. 05.05.2000, opubl. 20.07.2001.