

## СТАТЬЯ

УДК 631.895:633.11/.13/.16  
DOI 10.17513/use.38200

## ЗАМАЧИВАНИЕ ЗЕРНА В ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ УСКОРЯЕТ ПРОЦЕСС ПОГЛОЩЕНИЯ ИМ ВОДЫ

<sup>1,2</sup>Сумина А.В., <sup>2</sup>Полонский В.И., <sup>1</sup>Бортников С.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», Абакан,  
e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск

Целью настоящего исследования является анализ зависимости скорости начального поглощения воды зерном овса ярового, ячменя ярового и пшеницы яровой мягкой при его выдерживании в водных суспензиях различных форм бентонита. В работе использовали водные суспензии бентопорошка: исходную (карьерную) глину (0,5 г на 100 мл воды), активированную карбонатом натрия глину в той же концентрации, активированную глину с добавлением глицина. В контроле применяли дистиллированную воду. Эксперименты выполняли с зерном ячменя ярового (сорт Биом), овса ярового (сорт Тубинский) и пшеницы яровой мягкой (сорт Алтайская 70). Ежеминутно измеряли динамику поглощения воды сухим зерном (навеска 50 г) в течение первых 5 мин от начала его замачивания. Во всех вариантах с суспензией бентонита по сравнению с контролем установлены более высокие темпы поглощения воды зерном в первую минуту его замачивания. Опыт превышал контроль в 2,2 (ячмень), 2,4 (овес) и 4,3 раза (пшеница). После замачивания в течение 5 мин средние различия между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, составили 11 (пшеница яровая мягкая), 40 (ячмень яровой) и 62% (овес яровой). Предложен вероятный механизм зарегистрированного эффекта. При замачивании зерна в суспензии глины возможно отложение твердых частиц внутри капилляров, сопровождающееся сужением последних. Вследствие эффекта уменьшения радиуса капилляров интенсивность поглощения воды зерном из суспензии глины может увеличиться. Добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует некоторому дальнейшему повышению темпов поглощения воды, по-видимому, из-за увеличения адгезии и смачиваемости капилляров в веществе зерна.

**Ключевые слова:** бентонит, поглощение воды, зерно, овес, пшеница, ячмень

*Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 104 от 10.10.2023).*

## SOAKING THE GRAIN IN AN AQUEOUS SUSPENSION OF BENTONITE CLAY ACCELERATES THE PROCESS OF ABSORPTION OF WATER BY IT

<sup>1,2</sup>Sumina A.V., <sup>2</sup>Polonskiy V.I., <sup>1</sup>Bortnikov S.V.

<sup>1</sup>N.F. Katanov Khakass State University, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk

The purpose of this study is to analyze the dependence of the rate of initial absorption of water by grain of oats, barley and wheat when it is kept in aqueous suspensions of various forms of bentonite. Water suspensions of bentopowder were used in the work: initial (quarry) clay (0.5 g per 100 ml of water), activated clay with sodium carbonate in the same concentration, activated clay with the addition of glycine. Distilled water was used in the control. Experiments were carried out with barley grain (Biom variety), oats (Tubinsky variety) and wheat (Altayskaya 70 variety). The dynamics of water absorption by dry grain (50 g weight) was measured every minute during the first 5 minutes from the start of its soaking. In all variants with bentonite suspension, higher rates of water absorption by grain in the first minute of its soaking were established in comparison with the control. The experiment exceeded the control by 2.2 times (barley), 2.4 times (oats) and 4.3 times (wheat). After soaking for 5 minutes, the average differences between the experimental variants on the one hand and the control on the other were 11 (wheat), 40 (barley) and 62% (oats). A probable mechanism of the registered effect is proposed. When the grain is soaked in a clay suspension, solid particles may be deposited inside the capillaries, accompanied by a narrowing of the latter. Due to the effect of reducing the radius of the capillaries, the intensity of water absorption by the grain from the clay suspension may increase. Addition of sodium ions and the amino acid glycine (the so-called activation of bentonite clay) contributes to some further increase in the rate of water absorption, apparently due to an increase in the adhesion and wettability of capillaries in the grain substance.

**Keywords:** bentonite, water absorption, grain, oats, wheat, barley

*The research was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement No. 104 dated October 10, 2023).*

Изменение климатических показателей, особенно в плане выпадения осадков, оказывает заметное влияние на количество и качество урожая большинства выращиваемых культур, особенно в полусухих и аридных регионах, где нехватка воды является существенным ограничивающим фактором в сельскохозяйственном производстве. Ценность продукции растениеводства определяется не только общим количеством воды и эффективностью ее использования, но также зависит от характера распределения осадков в течение вегетационного периода [1].

Зрелое зерно обычно содержит от 86 до 90% сухого материала, главным образом состоящего из углеводов (таких как крахмал, клетчатка, декстрины и сахара), белков, различных витаминов, жиров и минералов. Эти минералы при сжигании образуют зольный остаток. Чтобы процесс прорастания зерна был возможен, содержание воды в нем должно быть минимум 50%. Прорастание зерна становится практически невозможным, если влажность почвы составляет менее 30% от ее полной водоудерживающей способности [2].

При этом семена, которые уже высохли, быстро впитывают влагу и увеличиваются в размере. Если деление и рост клеток зародыша еще не начались, семена можно высушить снова, и они не потеряют свою способность к прорастанию. Это значит, что процесс поглощения воды обратим [3]. Семена зерновых культур начинают поглощать воду, как только вступают в контакт с ней [4]. Химический состав семян разных культур и их биологические характеристики определяют различное требование к количеству необходимой для прорастания поглощенной воды. Эта величина, например, у ячменя равна 48,2% от сухой массы [5]. Скорость впитывания воды зависит от характеристик семян, таких как размер и масса, анатомическое строение, способ поступления воды в семя, проницаемость семенной оболочки и химический состав. Также на скорость влияют поверхность семени, вступающая в контакт с водой, и температура. Генетические факторы также оказывают значительное влияние на процесс поступления воды в семена [2].

Выявлена и последовательность проникновения воды в семена. После набухания кожуры начинается процесс набухания семядолей и гипокотыля, в результате чего их поверхность также заметно возрастает. В этот период происходит биохимическая

подготовка роста, которая затем проявляется в интенсивном удлинении корешка, пронизывающего растянутую кожуру со скоростью около 0,1 мм/ч [3].

Как известно, с эффективным поглощением и использованием воды растительным организмом связана активность его метаболических процессов и, как следствие, продуктивность и устойчивость к действию неблагоприятных экологических факторов. На уровне целого растения указанные изменения сопровождаются, как правило, стимуляцией роста корневой системы [6]. Главный фактор, обеспечивающий полноценные условия для прорастания семян, – это необходимое количество в них воды [2]. Принято считать, что прорастание предопределяется активацией метаболизма, происходящей перед наклеванием семени [7].

Уже при влажности от 20 до 25% в осевых органах запускается первичный обмен веществ. В диапазоне значений влажности от 40 до 55%, по-видимому, начинает синтезироваться белок на запасенной матричной РНК с использованием всех компонентов системы синтеза белка, которые были накоплены при созревании, а также синтезируется матричная РНК семян, обеспечивая выполнение всей генетической программы прорастания. В этом диапазоне влажности также активизируется процесс дыхания, который объясняется завершением процесса образования митохондрий и началом мобилизации крахмала и запасенного белка в семенах. К концу этапа активации обмена веществ в клетках осевых органов подготавливается энергетическое обеспечение для последующих событий и начинается гидролиз запасных веществ. Поступление воды в осевые органы происходит до достижения влажности 55–60% за счет «физического» набухания. Таким образом, активация метаболизма в семенах при наличии влаги в почве происходит всегда [2].

Первый этап прорастания семян представляет собой процесс активации метаболизма, который длится от начала контакта семени с водой до завершения «физического» набухания. Последний обеспечивается за счет механизма капиллярного поглощения влаги, функционирующего вследствие наличия низкого матричного потенциала сухого семени. Установлено, что семена, поглотившие воду в большем количестве в первые четыре часа, оказались более продуктивными [2]. Поэтому агроприемы, способствующие большему относительному поглощению воды семенами, могут быть

эффективными в плане повышения продуктивности культурных растений.

Бентонит – это филлосиликатная глина, состоящая преимущественно из монтмориллонита, экологичный природный материал, обладающий отличными адсорбционными свойствами, и поэтому его можно использовать в качестве естественного и нетоксичного удобрения для почвы. Исследования показали, что применение бентонита повышает влагоудерживающую способность почвы и эффективность использования воды в сельскохозяйственных культурах [8]. Результаты изучения влияния бентонита на темпы поглощения воды семенами при их замачивании нам не удалось встретить в доступной литературе.

Цель исследования состоит в анализе зависимости скорости начального поглощения воды семенами при выдерживании их в водных суспензиях различных форм бентонита.

#### Материалы и методы исследования

В качестве экспериментальных вариантов были взяты водные суспензии бентопошка (табл. 1): активированной карбонатом натрия глины (0,5 г на 100 мл воды), активированной глины с добавлением глицина, исходной (карьерной) глины в той же концентрации. В контроле использовалась дистиллированная вода.

В экспериментах использовали зерно ячменя (сорт Биом), овса (сорт Тубинский) и пшеницы (сорт Алтайская 70), выращенное на территории Бейского района Республики Хакасия в 2022 г.

Таблица 1

Описание модельных систем

№	Используемые варианты систем
1	Дистиллированная вода
2	Водная суспензия исходной глины (кальциевая форма бентонита)
3	Водная суспензия активированной глины (натриевая форма бентонита)
4	Водная суспензия активированной глины + глицин

В работе были проведены измерения динамики относительного поглощения водных растворов модельных систем зерном указанных выше сельскохозяйственных культур. Суть подхода состояла в анализе динамики поглощения воды зерном в течение первых 5 минут от начала его замачива-

ния. Для этого навеску сухих зерен каждого образца по 50 г (точность измерения 0,1 г) помещали в сосуд с соответствующим раствором ( $t = 18-20$  °С). Затем с интервалом 1 мин извлекали из сосуда зерно, промокали его фильтровальной бумагой и взвешивали. После чего по формуле рассчитывали относительное поглощение жидкости зерном за каждую минуту экспозиции:

$$\text{ОПВ} = [(M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}}) / M_{\text{нач}}] \times 100\%,$$

где  $M_{\text{кон}}$  – масса зерна после процедуры замачивания за каждую минуту;  $M_{\text{нач}}$  – исходная масса сухого зерна [9].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные представлены на рис. 1–3 и в табл. 2. Результаты говорят, что во всех вариантах с суспензией бентонита по сравнению с контролем существуют более высокие темпы поглощения воды зерном в первую минуту его замачивания. Исходя из табл. 2, по рассматриваемому показателю опытные варианты отличались от контроля в 2,2 раза (яровой ячмень), 2,4 (яровой овес) и 4,3 раза (яровая мягкая пшеница). Подчеркнем, что полученный эффект мало зависел от вида растений. Далее в рассматриваемом физическом процессе с течением времени наблюдаемый разрыв между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, продолжал увеличиваться. Особенно это заметно у пленчатых зерновых культур – яровых овса и ячменя.

После замачивания в течение 5 мин средние различия между опытными вариантами, с одной стороны, и контролем, с другой, составили 11% (пшеница яровая мягкая), 40% (ячмень яровой) и 62% (овес яровой). Среди вариантов с применением бентонитовой суспензии различия в регистрируемом поглощении воды зерном были относительно слабые.

Каковы возможные механизмы наблюдаемого в работе эффекта? Семя в состоянии покоя представляет собой систему капилляров, пронизывающих сухое органическое вещество, и в первые минуты оно поглощает воду только за счет капиллярных сил, по градиенту так называемого матричного потенциала. Хорошо известно, что капиллярное давление математически выражается прямой зависимостью от поверхностного натяжения жидкости и обратной зависимостью от радиуса капилляра и плотности используемой жидкости.

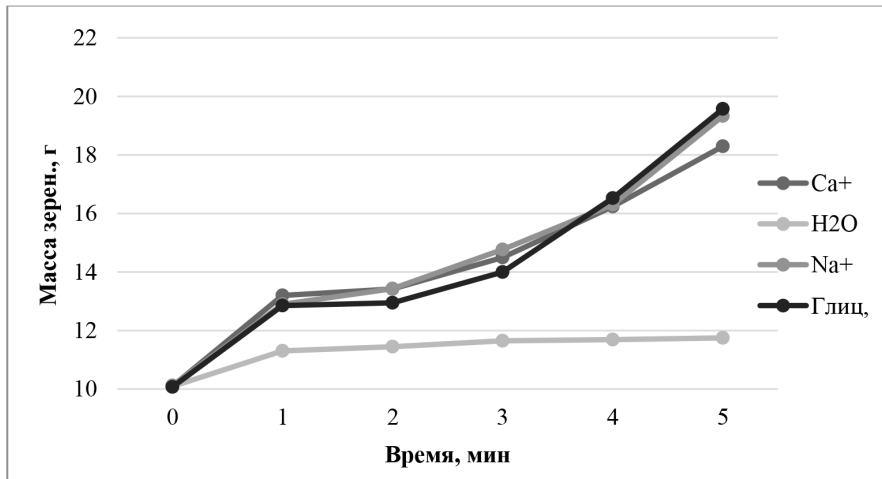


Рис. 1. Поглощение зерном овса ярового воды и растворов на основе бентонита

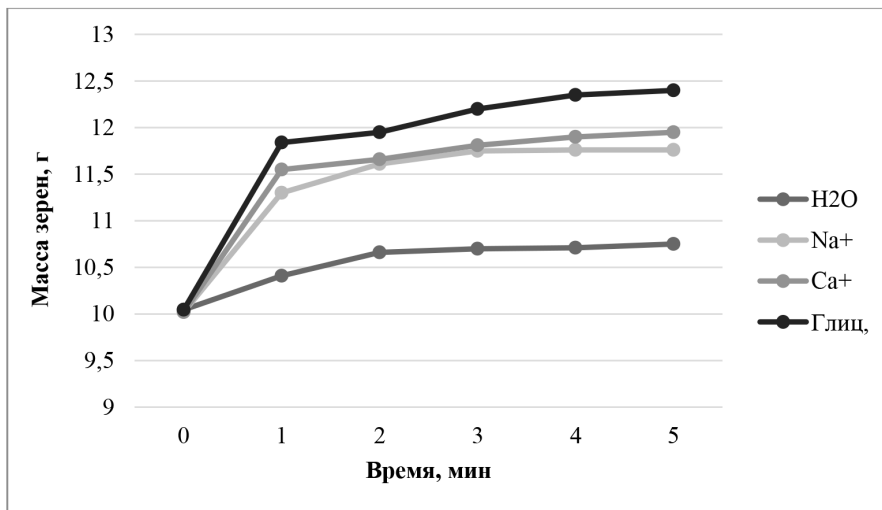


Рис. 2. Поглощение зерном яровой мягкой пшеницы воды и растворов на основе бентонита

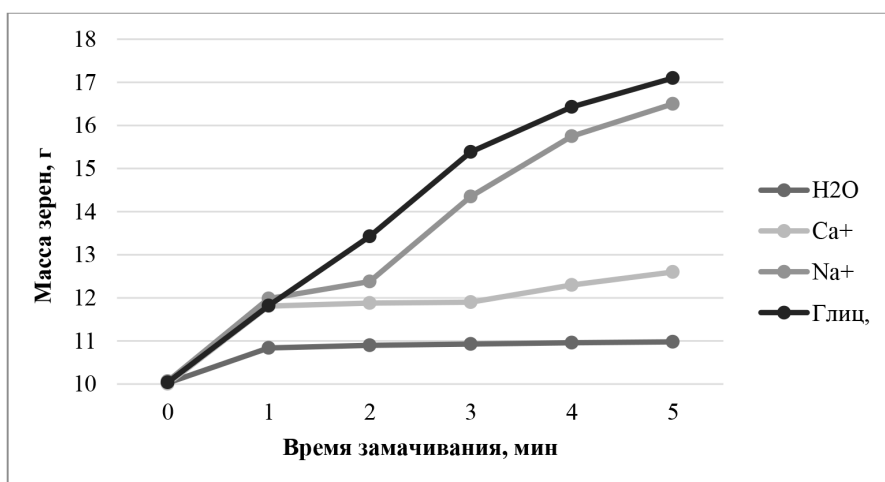


Рис. 3. Поглощение зерном ячменя ярового воды и растворов на основе бентонита

Таблица 2

Поглощение модельных растворов зерном различных культур

Раствор	Изменение массы по минутам, %				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Пшеница яровая мягкая					
H <sub>2</sub> O	3,63	2,40	0,38	0,09	0,37
Ca <sup>+</sup>	12,77	2,74	1,21	0,09	0,85
Na <sup>+</sup>	15,27	0,95	1,29	0,76	0,42
Глицин	17,87	0,93	2,09	1,23	0,40
Овес яровой					
H <sub>2</sub> O	11,99	1,28	1,75	0,34	0,51
Ca <sup>+</sup>	27,41	4,11	9,98	10,39	10,55
Na <sup>+</sup>	30,63	1,67	8,05	12	12,65
Глицин	27,59	0,74	8,11	18,032	18,45
Ячмень яровой					
H <sub>2</sub> O	8,13	0,55	0,28	0,274	0,18
Ca <sup>+</sup>	18,04	0,59	0,17	3,361	2,44
Na <sup>+</sup>	19,08	3,3	15,91	9,756	4,76
Глицин	17,73	13,58	14,6	6,792	4,08

С одной стороны, весьма вероятно, что поверхностное натяжение используемых водных суспензий глины будет ниже по сравнению с чистой водой, а плотность таковых будет превышать плотность дистиллированной воды. И первое, и второе должно сопровождаться снижением темпов поглощения воды зерном в опытных вариантах. Но в экспериментах отмечается противоположный эффект. Следовательно, ни поверхностное натяжение, ни плотность используемых суспензий глины не имеют отношения к регистрируемому экспериментальному факту.

С другой стороны, при замачивании зерна в суспензии глины возможно отложение частиц глины внутри капилляров, сопровождающееся их сужением. Вследствие эффекта уменьшения радиуса капилляров интенсивность поглощения воды зерном из суспензии глины может увеличиться. Добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует некоторому дальнейшему повышению темпов поглощения воды, по-видимому, вследствие увеличения адгезии и смачиваемости капилляров.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены новые знания, касающиеся вопроса прайминга

зерна в части изучения механизма начального поглощения воды и растворов на ее основе. Было установлено, что добавление ионов натрия и аминокислоты глицина (так называемое активирование бентонитовой глины) способствует повышению темпов поглощения зерном водных растворов в исследуемом временном интервале, по сравнению с дистиллированной водой, что может быть связано с увеличением адгезии и смачиваемости капилляров. Анализ современной научной литературы подчеркивает большой потенциал фундаментальных и прикладных исследований по изучению механизмов праймирования зерна как варианта, улучшающего его качественные и количественные характеристики, а также повышающего устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

#### Список литературы

1. Mi J., Gregorich G.E., Xu S., McLaughlin N.B., Ma B., Liu J. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region // *Field Crops Research*. 2017. Vol. 212. P. 107–114.
2. Казакова А.С., Майборода А.С. Микрофенологические фазы прорастания семян ячменя: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. 183 с.
3. Кошеляев В.В., Карпова Г.А., Кошеляева И.П. Научное обоснование формирования продуктивности ярового ячменя под влиянием приемов технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 218 с.

4. Новохатин В.В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. Секция: Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство. 2018. Т. 32, № 9. С. 40–47.
5. Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 256 с.
6. Chao Wang, Shuxia Wu, Tankari Moussa, Ximei Zhang, Li Li, Daozhi Gong, Weiping Hao, Yanqing Zhang, Xurong Mei, Yufei Wang, Fulai Liu, Yaosheng Wang. Stomatal aperture rather than nitrogen nutrition determined water use efficiency of tomato plants under nitrogen fertigation // Agricultural water management. 2018. Vol. 209. P. 94–101.
7. Глотова И.А., Галочкина Н.А. Влияние источников селена на биохимические процессы при набухании и прорастании зерна пшеницы // Химия растительного сырья. 2017. № 4. С. 211–216.
8. Tahir S., Marschner P. Clay amendment to sandy soil-effect of clay concentration and ped size on nutrient dynamics after residue addition // Journal of soils and sediments. 2016. Vol. 16. P. 2072–2080.
9. Полонский В.И., Сумина А.В. Начальное поглощение воды зерном ячменя связано с показателем его пленчатости // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 12. С. 97–102.