

УДК 630*861

ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ

© *М.И. Мальцев¹, Е.В. Калюта^{1*}, В.И. Маркин², И.Б. Катраков²*

¹Алтайский государственный аграрный университет, пр. Красноармейский, 98, Барнаул, 656049 (Россия) e-mail: kalyuta75@mail.ru

²Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049 (Россия), e-mail: markin@chemwood.asu.ru

Представлены результаты исследований по изучению действия композиционных полимерных препаратов, полученных путем карбоксиметилирования различного вида растительного сырья (опилок древесины сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) (препарат NaКМД), цветковых пленок овса (*Avena sativa* L.) (препарат NaКМО) и лузги подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) (препарат NaКМП)), на водопрочность почвенных агрегатов в лабораторных и полевых условиях лесостепи Алтайского края. Объект исследований – чернозем обыкновенный и выщелоченный среднесуглинистый. Показатель водопрочности почвенных агрегатов определяли по методу П.И. Андрианова. Установлено, что как в лабораторных, так и в полевых условиях почвенные агрегаты с применением препаратов размываются водой значительно медленнее, чем на вариантах без применения препаратов. Наибольшее влияние на устойчивость почвенных агрегатов к действию воды оказал препарат NaКМП, содержащий в своем составе наибольшее количество карбоксиметилированного лигнина (17.1%). В общем водопрочность почвы при применении изучаемых препаратов в зависимости от дозы внесения повышалась в 1.2–3.5 раза по сравнению с контролем. Положительное действие препаратов из карбоксиметилированного растительного сырья изменяется в следующем порядке: NaКМП > NaКМО > NaКМД.

Ключевые слова: карбоксиметилирование, растительное сырье, структурообразователь почвы, водопрочность почвенных агрегатов, чернозем выщелоченный.

Введение

Главная задача земледелия – высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур за счет увеличения плодородия почвы. Большую роль в этом играют физико-химические и водно-физические свойства почв [1, 2]. Улучшение водно-физических свойств почв тесно связано с обеспечением оптимальной и стабильной во времени плотности ее сложения, что зависит от наличия в почве достаточного количества агрономически ценной водопрочной структуры. Почвы, обладающие водопрочной структурой, имеют благоприятный для развития растений водно-воздушный режим, хорошие механические свойства и т.д. Почвы, не имеющие водопрочной структуры, становятся малопроницаемыми для воды и воздуха, а при высыхании растрескиваются на крупные глыбы.

Среди многочисленных приемов, используемых для улучшения агрофизических свойств почв, одним из эффективных является применение искусственных структурообразователей почвы, в частности высокомо-

Мальцев Михаил Ильич – заведующий кафедрой общего земледелия и растениеводства, кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: uoshs@mail.ru
Калюта Елена Владимировна – доцент кафедры химии, кандидат химических наук, e-mail: kalyuta75@mail.ru
Маркин Вадим Иванович – доцент кафедры органической химии, кандидат химических наук, e-mail: markin@chemwood.asu.ru
Катраков Игорь Борисович – доцент кафедры органической химии, кандидат химических наук, e-mail: kib-22@yandex.ru

лекулярных водорастворимых полимеров. Под последними понимают синтетические продукты или химически измененные природные материалы, с помощью которых можно оптимально преобразовывать преимущественно физические, а частично и химические свойства почвы [3]. Синтезируемые полимерные структурообразователи для почв обычно характеризуются наличием в цепи их макромолекул карбоксильных, амидных и гидроксильных полярных групп. В связи с этим в настоящее

* Автор, с которым следует вести переписку.

время активно изучается структурообразующее действие водорастворимых полимеров, содержащих указанные активные группы как в отдельности, так и в их сочетании: водные растворы полимеров акрилового ряда (полиакриламидов [4] и полиметилметакрилатов [5]), полиоксипропилен(20)сорбитан моноолеата и монолаурат ангидросорбитана [6], поликомплексных композитов на основе карбоксиметилцеллюлозы [7] и др. В настоящее время растет интерес к исследованиям по применению в сельском хозяйстве лигнина и продуктов, получаемых на его основе. Их предлагается использовать в качестве удобрений, стимуляторов роста растений, агентов, улучшающих структуру почв и др. [8, 9].

Исследования показали, что применение композиционных полимерных препаратов (КПП) в почвах ведет к улучшению структуры, уменьшает плотность и резко повышается водопрочность структурных агрегатов (в 15 раз), увеличивает предельную полевую влагоемкость и запасы продуктивной воды. При этом снижается физическое испарение с поверхности в 2–3 раза, возрастает амплитуда суточных температур почвы [7].

Одними из возможных искусственных структурообразователей почвы являются продукты карбоксиметилирования растительного сырья с получением водорастворимых полимерных композитов, содержащих в своем составе карбоксиметилированные основные структурные компоненты (целлюлоза, лигнин, гемицеллюлозы) [10]. Карбоксиметилирование проводят с растительным сырьем различного происхождения (древесина хвойных и лиственных пород, однолетние растения), в том числе и отходы их переработки.

Данные продукты проявляют росторегулирующие свойства [11–13], а также могут быть использованы и в качестве веществ, улучшающих водопрочность структуры почвы. Использование отходов в качестве сырья для производства таких карбоксиметилированных полимерных композиций имеет как природоохранное, так и экономическое значение.

Цель нашего исследования – определить действие препаратов, полученных из карбоксиметилированных продуктов переработки растительного сырья, на водопрочность почвенных агрегатов в лабораторных и полевых условиях лесостепи Алтайского края.

Экспериментальная часть

Получение композиционных полимерных препаратов (КПП). В качестве исходного растительного сырья для получения полимерных структурообразователей использовали опилки древесины сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) (препарат NaКМД), а также отходы растениеводства: цветковые пленки овса (*Avena sativa* L.) (препарат NaКМО) и лузгу подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) (препарат NaКМП). Карбоксиметилирование проводили в реакторе РВПЭ-0.2 (ООО «ЮВС», Обнинск) в течение 3 ч при температуре 60 °С [12].

Исследование химического состава КПП. Продукты карбоксиметилирования растительного сырья анализировали на содержание карбоксиметильных групп (КМГ) [15], карбоксиметилированного лигнина (по Комарову) [16] и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (NaКМЦ) [17] и определяли их растворимость в воде [15].

Определение показателя водопрочности почвенных агрегатов (В, %) по методу П.И. Андрианова. Метод основан на учете количества расплывшихся почвенных агрегатов в стоячей воде в определенные интервалы времени [18].

Исследование проводили на черноземе выщелоченном среднесуглинистом, взятом на опытном поле Алтайского государственного аграрного университета на глубине 0–20 см. Для проведения лабораторного опыта навеску воздушно-сухого почвенного образца (200 г), просеянного через лабораторные сита (1 мм) смешивали с изучаемыми сухими КПП в концентрации 0.4 и 0.8% от массы навески, помещали в алюминиевые стаканчики, хорошо перемешивали и увлажняли до 30%. Почву увлажняли через каждые 7 дней в течение 2 месяцев, предварительно прорыхлив ее.

В полевом опыте изучали эффект действия препаратов в сухом виде с дозами внесения от 0.5 до 10 г/м². После равномерного внесения препаратов почву рыхлили на глубину 5 см и далее обрабатывали против сорняков по мере их отрастания путем подрезания наземной части растений. Полевой опыт проводили в богарных условиях в течение 3 лет, продолжительность одного опыта – 5 месяцев (май – сентябрь). Площадь экспериментальных делянок – 1 м², повторность – 4-кратная. Осенью отбирали почвенные образцы с исследуемых вариантов на глубине 0–5 см.

В качестве сравнения изучали действие карбоксиметилцеллюлозы (марка КМЦ-М, изготовлена ОАО «БХК», Бийск) в тех же условиях. Растворимость в воде КМЦ-М – 99.0%, содержание КМГ – 30.4%.

Обсуждение результатов

Одним из показателей качества структуры почвы является водопрочность агрегатов, обусловленная цементацией механических элементов свежесажженным органическим веществом [19].

Для оценки водопрочной структуры почв И.В. Кузнецова предложила ориентировочную шкалу [20]. Содержание водопрочных агрегатов в пахотном слое менее 30% считается неудовлетворительной, 30–40% – удовлетворительной, 40–60% – хорошей, 60–75% – отличной, выше 75% – избыточно высокой. На структурных почвах с хорошим и отличным содержанием водопрочных агрегатов и оптимальным сложением создаются условия для минимализации обработки почвы, вплоть до отказа от основной обработки.

За рубежом при оценке структуры почвы используют такие показатели, как распад (slaking) и дисперсия (dispersion) почвенных агрегатов [21].

Для проведения исследования нами синтезированы композиционные полимерные препараты на основе различных видов растительного сырья [14], состав которых приведен в таблице 1.

Результаты исследования в лабораторных условиях показали, что искусственное оструктурирование почв при влажности, близкой к полевой, привело к существенным изменениям водопрочных свойств почвы (табл. 2). Так, на контрольном варианте (без применения препаратов) уже за первые 3 мин проведения эксперимента наблюдался полный распад всех почвенных агрегатов, а для изучаемых КПП при концентрации 0.4% на варианте с NaKMЦ оставалось 5 целых агрегатов из 50, с NaKMД – 4, с NaKMO – 22 и с NaKMП – 29. Увеличение дозы внесения препаратов в 2 раза способствовало увеличению количества сохранившихся почвенных агрегатов на фоне контроля для NaKMЦ до 14 агрегатов, для NaKMД – до 18, для NaKMO – до 27 и для NaKMП – до 33. Следует отметить, что композиционный полимерный препарат NaKMД влияет на водопрочность почвы практически так же, как известный структурообразователь NaKMЦ, а другие препараты увеличивают этот показатель в 2–4 раза.

Таблица 1. Химический состав композиционных полимерных препаратов

Исходное сырье (препарат)	Состав и свойства продуктов карбоксиметилирования, %			
	Карбоксиметилированная целлюлоза	Карбоксиметилированный лигнин	Содержание КМГ	Растворимость в воде
Опилки древесины сосны (NaKMД)	32.4±0.5	16.5±0.2	29.3±0.3	46.6±0.9
Цветковые пленки овса (NaKMO)	28.7±0.4	12.4±0.3	13.3±0.3	75.2±0.8
Подсолнечная лузга (NaKMП)	21.5±0.7	17.1±0.4	19.0±0.4	59.6±1.3

Таблица 2. Влияние композиционных полимерных препаратов на водопрочность почвенных агрегатов (лабораторный опыт 2014 г.)

Продолжительность, мин	Контроль	Структурообразователь							
		NaKMЦ		NaKMД		NaKMO		NaKMП	
		0.4%	0.8%	0.4%	0.8%	0.4%	0.8%	0.4%	0.8%
1	46	39	27	43	21	14	12	14	13
2	2(48)*	1(40)	2(29)	2(45)	10(31)	10(24)	7(19)	5(19)	2(15)
3	2(50)	5(45)	7(36)	1(46)	1(32)	4(28)	4(23)	2(21)	2(17)
4		2(47)	8(44)	1(47)	5(37)	4(32)	6(29)	5(26)	2(19)
5		1(48)	-(44)	-(47)	2(39)	3(35)	4(33)	4(30)	3(22)
6		-(48)	-(44)	-(47)	5(44)	1(36)	2(35)	1(31)	6(28)
7		-(48)	-(44)	-(47)	-(44)	4(40)	5(40)	-(31)	1(29)
8		-(48)	-(44)	-(47)	-(44)	2(42)	-(40)	-(31)	1(30)
9		-(48)	-(44)	-(47)	-(44)	2(44)	-(40)	1(32)	-(30)
10		-(48)	-(44)	-(47)	-(44)	-(44)	-(40)	-(32)	-(30)
В, %	6.2	13.0	22.6	12.1	28.4	36.6	41.8	49.6	57.5

Примечание. *здесь и далее в таблице первая цифра означает количество распавшихся почвенных агрегатов к текущему моменту времени; цифра в скобках – общее количество распавшихся почвенных агрегатов к текущему моменту времени.

Наибольшую устойчивость к размывающему действию воды проявила почва с внесением препарата, полученного на основе лузги подсолнечника NaKMП. Водопрочность почвенных агрегатов при применении этого препарата при концентрации внесения 0.4% составила 49.6%, что выше контроля в 8 раз. Увеличение концентрации препарата в два раза способствовало увеличению водопрочности почвенных агрегатов в 1.2 раза. Агрегаты почвы с другими препаратами обладают водопрочностью структуры, в 2–6 раз превышающей контрольный вариант. Наибольшее увеличение водопрочности структуры почвы в зависимости от увеличения дозы внесения препарата было отмечено на варианте с NaKMД, наименьшее – с NaKMП.

Ранее было показано, что изучаемые полимерные композиции, полученные карбоксиметилированием различного растительного сырья, обладают росторегулирующим действием и увеличивают урожайность сельскохозяйственных культур до 20% [11–14]. Показано, что при прорастании семян препараты обладают стимулирующей активностью ауксинового типа, действующим веществом является карбоксиметилированный лигнин. Наибольшее положительное влияние на урожайность оказывает препарат NaKMП, полученный на основе лузги подсолнечника, в котором высокое содержание указанного активного компонента. Наши исследования показали, что наибольшее изменение водопрочности почвенных агрегатов происходит также при использовании препарата NaKMП.

В настоящее время отсутствует единая теория механизма образования структуры почвы. Одной из современных гипотез образования структуры, представляющих возможные механизмы влияния органического вещества на агрегатообразование, является гипотеза влияния на него гидрофильных и гидрофобных компонентов (амфифильности) органического вещества [22, 23]. Большинство биологических макромолекул являются амфифильными веществами. Амфифильность обусловлена наличием в их составе как гидрофильных (полярных) групп, так и гидрофобных (неполярных) зон. Если на поверхности гидрофильной минеральной частицы отсутствуют амфифильные органические вещества, то частицы распадаются в воде под действием расклинивающего давления. Если амфифильные органические вещества присоединяются своей гидрофильной частью к минеральной частице, а их гидрофобная часть взаимодействует с гидрофобными частями другой амфифильной органической частицы, то агрегат является более водоустойчивым. Ограничение скорости поступления воды в агрегат за счет гидрофобных частей органических молекул обуславливает уменьшение расклинивающего давления и тем самым увеличивает водоустойчивость.

По механизму действия искусственные структурообразователи делят на косвенно действующие, непосредственно действующие и действующие как косвенно, так и непосредственно [3]. Основным компонентом изучаемых КПП является NaKMЦ, которая относится к непосредственно действующим структурообразователям, влияющим на процессы, протекающие на поверхности раздела фаз, и тем самым изменяющим физико-химические свойства почвы. Это водорастворимый высокополимерный полианион, принцип действия которого – многократная адсорбция линейных коллоидов на глинистых частицах. Сцепление с гранями поверхности глинистых минералов происходит за счет образования химических связей различного типа, а также силами Ван-дер-Ваальса. Благодаря адсорбции и в силу линейной коллоидной структуры NaKMЦ тесно прилегающая глинистая частица вовлекается в образование цепи. Так как линейный полимер может адсорбироваться одновременно несколькими частицами почвы, происходит многократная адсорбция и «склеивание».

Другой компонент изучаемых КПП также может влиять на физические свойства почвы. Так, в работе [9] показано, что высокомолекулярные производные лигносульфонатов, как крупнотоннажные отходы целлюлозно-бумажного производства, можно применять в качестве структурообразователей грунта и закрепителей песков. Такие производные являются мощными полимерными абсорбентами, которые способны поглощать количество воды в сотни раз больше своего веса и после трех лет полевых испытаний не теряют своих прикладных свойств. Лигносульфонаты относятся к категории препаратов, действующих как косвенно, так и непосредственно. Дипольный характер молекул придает им поверхностно-активные свойства, которые при соответствующей ориентации неполярных групп обуславливают гидрофобизацию пропитанных или поверхностно смоченных почвенных частиц. Кроме того, структурообразователи на основе лигносульфонатов стимулируют почвенные организмы, ускоряют появление всходов, рост молодых растений и усиливают их корневую систему.

Таким образом, измененные физические свойства почвы ускоряют прорастание семян, часто обуславливают более сильное развитие корневой системы растений, благодаря чему усиливаются поглощение ими питательных веществ и рост наземных органов молодых растений.

В полевых условиях 2015 г. нами выявлено существенное влияние изучаемых композиционных полимерных препаратов на физические свойства почвенных агрегатов. При внесении расчетной дозы препаратов 1 г/м² наблюдаются те же зависимости, что и в лабораторном эксперименте: наибольшую устойчивость к размывающему действию воды проявила почва с внесением препарата, полученного на основе лузги подсолнечника NaKMП. Водопрочность в этом случае увеличивается по сравнению с контролем в 1.7 раза. Композиционный полимерный препарат NaKMД влияет на водопрочность почвы практически так же, как известный структурообразователь NaKMЦ. Увеличение дозы внесения в 10 раз привело к избыточно высокому содержанию водопрочных агрегатов, практически не зависящего от химического состава КПП (табл. 3). Следовательно, внесение препаратов выше 10 г/м² нецелесообразно. В общем, в проведенном эксперименте водопрочность почвы при применении КПП повышалась на 33–96% по сравнению с контролем.

Наибольшее увеличение водопрочности структуры почвы в зависимости от увеличения дозы внесения препарата было отмечено на варианте с NaKMД, наименьшее с NaKMП.

В полевых опытах 2016–2017 гг. продолжалось изучение влияние КПП на водопрочность почвы, но при более низких дозах внесения (табл. 4, 5). Наибольшее влияние на устойчивость почвенных агрегатов к действию воды на всех вариантах оказал препарат NaKMП. Водопрочность почвы при применении этого препарата в зависимости от дозы внесения в 2016 г. повышалась на 60–80% по сравнению с контролем, в 2017 г. – на 64–360%.

Таблица 3. Влияние композиционных полимерных препаратов на водопрочность почвенных агрегатов (полевой опыт №1 2015 г.)

Продолжительность, мин	Контроль	Структурообразователь							
		NaKMЦ		NaKMД		NaKMO		NaKMП	
		1 г/м ²	10 г/м ²	1 г/м ²	10 г/м ²	1 г/м ²	10 г/м ²	1 г/м ²	10 г/м ²
1	13	7	4	8	3	12	13	10	2
2	10(23)	6(13)	1(5)	1(9)	2(5)	5(17)	–(13)	–(10)	3(5)
3	1(24)	1(14)	–(5)	4(13)	–(5)	1(18)	1(14)	3(13)	1(6)
4	2(26)	6(20)	–(5)	3(16)	2(7)	–(18)	–(14)	1(14)	–(6)
5	5(31)	–(20)	2(7)	3(19)	–(7)	2(20)	1(15)	–(14)	2(8)
6	3(34)	2(22)	3(10)	7(26)	–(7)	–(20)	–(15)	1(15)	1(9)
7	–(34)	–(22)	–(10)	7(33)	3(10)	2(22)	–(15)	1(16)	1(10)
8	1(35)	2(24)	1(11)	–(33)	–(10)	3(25)	1(16)	1(17)	1(11)
9	6(41)	2(26)	–(11)	2(35)	1(11)	–(25)	–(16)	1(18)	–(11)
10	1(42)	3(29)	1(12)	–(35)	4(15)	1(26)	1(17)	1(19)	3(14)
В, %	43.6	63.5	85.2	58.1	85.5	62.0	72.1	72.7	85.0

Таблица 4. Влияние композиционных полимерных препаратов на водопрочность почвенных агрегатов (полевой опыт №2 2016 г.)

Продолжительность, мин	Контроль	Структурообразователь							
		NaKMЦ		NaKMД		NaKMO		NaKMП	
		0.5 г/м ²	5 г/м ²	0.5 г/м ²	5 г/м ²	0.5 г/м ²	5 г/м ²	0.5 г/м ²	5 г/м ²
1	17	16	13	11	10	6	7	13	11
2	5(22)	2(18)	1(14)	3(14)	3(13)	3(9)	4(11)	3(16)	–(11)
3	4(26)	1(19)	2(16)	3(17)	3(16)	5(14)	1(12)	–(16)	1(12)
4	2(28)	3(22)	4(20)	3(20)	2(18)	–(14)	–(12)	1(17)	–(12)
5	6(34)	1(23)	5(25)	1(21)	2(20)	5(19)	3(15)	2(19)	1(13)
6	1(35)	–(23)	–(25)	1(22)	2(22)	–(19)	3(18)	–(19)	–(13)
7	2(37)	–(23)	1(26)	5(27)	–(22)	1(20)	–(18)	2(21)	3(16)
8	2(39)	–(27)	–(26)	–(27)	2(24)	2(22)	1(19)	–(21)	1(17)
9	–(39)	–(27)	–(26)	1(28)	3(27)	–(22)	–(19)	1(22)	–(17)
10	1(40)	1(28)	–(26)	–(28)	–(27)	1(23)	–(19)	1(23)	1(18)
В, %	40.6	51.6	59.2	59.8	62.9	68.8	71.9	64.9	73.8

Таблица 5. Влияние композиционных полимерных препаратов на водопрочность почвенных агрегатов (полевой опыт №3 2017 г.)

Продолжительность, мин	Конт-роль	Структурообразователь								
		NaКМД			NaКМО			NaКМП		
		1 г/м ²	2 г/м ²	3 г/м ²	1 г/м ²	2 г/м ²	3 г/м ²	1 г/м ²	2 г/м ²	3 г/м ²
1	28	11	6	7	8	5	4	13	5	5
2	11(39)	6(17)	4(10)	5(12)	6(14)	6(11)	3(7)	5(18)	2(7)	3(8)
3	4(43)	2(19)	5(15)	1(14)	2(16)	3(14)	1(8)	5(23)	4(11)	3(11)
4	1(44)	4(23)	5(20)	2(16)	2(18)	2(16)	3(11)	3(26)	3(14)	1(12)
5	3(47)	10(33)	8(28)	3(19)	4(22)	6(22)	2(13)	2(28)	3(17)	1(13)
6	2(49)	4(37)	2(30)	2(21)	2(26)	2(24)	5(18)	2(30)	4(21)	3(16)
7	1(50)	2(39)	4(34)	5(26)	7(33)	3(27)	2(20)	4(34)	2(23)	3(19)
8	–	3(41)	1(35)	4(30)	3(36)	2(29)	4(24)	2(36)	3(26)	5(24)
9	–	2(43)	3(38)	5(35)	1(37)	4(33)	2(26)	3(39)	3(29)	5(29)
10	–	1(44)	3(41)	3(38)	2(39)	2(35)	3(29)	2(41)	2(31)	2(31)
В, %	15.0	42.3	49.9	59.2	44.6	60.4	70.0	45.6	65.1	69.0

Результаты, полученные в ходе исследований, показали положительное действие изучаемых препаратов. Количество водопрочных агрегатов существенно увеличивалось. Наибольшее положительное действие на поднятие уровня водопрочности почвенных агрегатов оказывали препараты, полученные на основе лужги подсолнечника и половы овса. Результаты исследования дают основания для продолжения и углубленного изучения композиционных полимерных продуктов, полученных при карбоксиметилировании растительного сырья, в качестве препаратов, улучшающих водопрочность структуры почвы.

Заключение

1. В лабораторных условиях установлено, что структурообразующее действие карбоксиметилированных препаратов растительного сырья на водопрочность почвенных агрегатов значительно. Так, внесение исследуемых препаратов увеличивало данный показатель до 8 раз.

2. От дозы внесения карбоксиметилированных препаратов зависит структурообразующий эффект почвенных агрегатов. Увеличение концентрации препаратов в лабораторных условиях в два раза способствовало увеличению водопрочности почвенных агрегатов в зависимости от исходного сырья в 1.2–2.4 раза. Самая высокая водопрочность структуры почвы была отмечена на варианте с NaКМП.

3. В полевых условиях эффект от внесения карбоксиметилированного растительного сырья также выше, чем на контрольном варианте. В опытах почвенные агрегаты с применением препаратов размываются водой значительно медленнее, чем на вариантах без применения препаратов. Наибольшее влияние на устойчивость почвенных агрегатов к действию воды во все годы исследования оказал препарат NaКМП. Водопрочность почвы при применении данного препарата в зависимости от дозы внесения и климатических условий вегетационного периода увеличивается от 1.2 до 3.5 раза по сравнению с контролем.

4. Положительное действие препаратов из карбоксиметилированного растительного сырья изменяется в следующем порядке: NaКМП > NaКМО > NaКМД.

Список литературы

1. Арефьев А.Н., Кузина Е.Е., Кузин Е.Н. Приемы повышения плодородия черноземных и лугово-черноземных почв лесостепного Поволжья. Пенза, 2017. 483 с.
2. Сайфуллин Р.Р. Некоторые вопросы использования полимерных структурообразователей почв // Аллея науки. 2018. Т. 2, №8 (24). С. 385–388.
3. Курбанов С.А., Магомедова Д.С. Почвоведение с основами геологии. СПб., 2012. 288 с.
4. Голядкина И.В., Панков Я.В., Навалихин С.В. Эффективность применения полиакриламида для закрепления нарушенных земель Курской магнитной аномалии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. №206. С. 65–73.
5. Хабиров И.К., Сайфуллин Р.Р. Влияние высокомолекулярных водорастворимых полимеров агрофизические свойства почв и продуктивность сельскохозяйственных культур при их применении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. №6 (74). С. 8–11.
6. Патент 2438125 (РФ). Способ повышения водопрочности почвенных агрегатов / Г.Н. Федотов, В.С. Шалаев, Т.Ф. Рудометкина. 2011.
7. Юсупбеков О.Н. Научные основы интенсификации орошаемого земледелия с использованием полимерных материалов: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук. Ташкент, 1998. 45 с.
8. Алламуратов М.О., Аметов Я.И., Жумабаев Б. Разработка эффективных структурообразователей почв на основе местных и вторичных ресурсов // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции: в 5 т. Краснодар, 2017. Т. 4 С. 88–91.

9. Комаров А.А. Получение гумусоподобных соединений из лигнина и их физиологическое действие на растения. СПб., 2004. 120 с.
10. Маркин В.И. Карбоксиметилирование растительного сырья. Теория и практика. Барнаул, 2010. 167 с.
11. Базарнова Н.Г., Катраков И.Б., Маркин В.И., Верещагина Т.В., Жилина И.Н., Уткова Е.А., Борисова Г.И., Семенов А.А. Росторегулирующие полимерные композиции на основе химически модифицированного растительного сырья для выращивания овощных культур, производимых тепличными технологиями // Вестник Алтайской науки. 2013. №1. С. 39–42.
12. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Исследование влияния карбоксиметилированного растительного сырья на активность прорастания яровой мягкой пшеницы // Химия растительного сырья. 2013. №3. С. 249–253. DOI: 10.14258/jcprn.1303249.
13. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Применение инновационных препаратов Эко-Стим в качестве регуляторов роста сельскохозяйственных культур // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 145–152. DOI: 10.14258/jcprn.2016021296.
14. Калюта Е.В., Маркин В.И., Мальцев М.И. Влияние условий хранения на свойства водных растворов карбоксиметилированного растительного сырья // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 309–317. DOI: 10.14258/jcprn.2018044551.
15. Колосов П.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Высокмолекулярные продукты карбоксиметилирования растительного сырья с сорбционными свойствами: монография. Барнаул, 2014. 134 с.
16. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 411 с.
17. Калюта Е.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Влияние продолжительности обработки надуксусной кислотой карбоксиметилированной древесины на свойства выделяемой карбоксиметилцеллюлозы // Химия растительного сырья. 2006. №2. С. 29–31.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2011. 352 с.
19. Воеводина Л.А. Структура почвы и факторы, изменяющие ее при орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. №1(21). С. 134–154.
20. Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв // Почвоведение. 1979. №3. С. 81–88.
21. Soil Quality Test Kit Guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. 1999. 82 p.
22. Теории и методы физики почв: коллектив. моногр. Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М., 2007. 616 с.
23. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М., 2009. 186 с.

Поступила в редакцию 5 января 2019 г.

После переработки 19 мая 2019 г.

Принята к публикации 7 июня 2019 г.

Для цитирования: Мальцев М.И., Калюта Е.В., Маркин В.И., Катраков И.Б. Применение химически модифицированного растительного сырья в качестве структурообразователей почвы // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 355–362. DOI: 10.14258/jcprn.2019036466.

Maltsev M.I.¹, Kalyuta E.V.^{1}, Markin V.I.², Katrakov I.B.²* THE USE OF CHEMICALLY MODIFIED PLANT MATERIALS AS SOIL BUILDERS

¹Altai State Agrarian University, Krasnoarmeysky Ave., 98, Barnaul, 656049 (Russia) e-mail: kalyuta75@mail.ru

²Altai State University, Lenina Ave. 61., Barnaul, 656049 (Russia), e-mail: markin@chemwood.asu.ru

The results of studies on the effects of composite polymer preparations obtained by carboxymethylation of various types of plant materials (sawdust common pine (*Pinus silvestris*) (NaKMD preparation), oat flower films (*Avena sativa* L.) (NaKMO preparation) and sunflower husk (*Helianthus annuus* L.) (NaKMP preparation)), on the water resistance of soil aggregates in laboratory and field conditions of the forest-steppe of the Altai Territory are presented. The object of research is ordinary and leached medium loamy black earth. The water resistance index of soil aggregates was determined by the method of P.I. Andrianova. It was found that both in laboratory and in field conditions, soil aggregates with the use of drugs are washed out by water much more slowly than in versions without the use of drugs. The NaCMP preparation, which contains the largest amount of carboxymethylated lignin (17.1%), had the greatest influence on the resistance of soil aggregates to water. In general, the water resistance of the soil when using the studied drugs, depending on the application dose, increased 1.2–3.5 times compared to the control. The positive effect of preparations from carboxymethylated plant materials varies in the following order: NaKMP > NaKMO > NaKMD.

Keywords: carboxymethylation, plant raw materials, soil structure-forming agent, water strength of soil aggregates, leached black earth.

* Corresponding author.

References

1. Aref'yev A.N., Kuzina Ye.Ye., Kuzin Ye.N. *Priyemy povysheniya plodorodiya chernozemnykh i lugovo-chernozemnykh pochv lesostepnogo Povolzh'ya*. [Techniques for increasing the fertility of chernozem and meadow chernozem soils of the forest-steppe Volga region]. Penza, 2017, 483 p. (in Russ.).
2. Sayfullin R.R. *Alleya nauki*, 2018, vol. 2, no. 8 (24), pp. 385–388. (in Russ.).
3. Kurbanov S.A., Magomedova D.S. *Pochvovedeniye s osnovami geologii*. [Soil science with the basics of geology], St. Petersburg, 2012., 288 p. (in Russ.).
4. Golyadkina I.V., Pankov YA.V., Navalikhin S.V. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2014, no. 206, pp. 65–73. (in Russ.).
5. Khabirov I.K., Sayfullin R.R. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 6(74), pp. 8–11. (in Russ.).
6. Patent 2438125 (RU). 2011. (in Russ.).
7. Yusupbekov O.N. *Nauchnyye osnovy intensivifikatsii oroshayemogo zemledeliya s ispol'zovaniyem polimernykh materialov: avtoreferat dissertatsiya doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk*. [The scientific basis for the intensification of irrigated agriculture using polymer materials: abstract of a thesis of a doctor of agricultural sciences]. Tashkent, 1998, 45 p. (in Russ.).
8. Allamuratov M.O., Ametov YA.I., Zhumabayev B. *Bulatovskiye chteniya: materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Bulatov readings: materials of the I International scientific-practical conference]. In 5 vol. Krasnodar, 2017. T. 4 C. 88–91. (in Russ.).
9. Komarov A.A. *Polucheniye gumusopodobnykh soyedineniy iz lignina i ikh fiziologicheskoye deystviye na rasteniya*. [Obtaining humus-like compounds from lignin and their physiological effect on plants]. St. Petersburg, 2004, 120 p. (in Russ.).
10. Markin V.I. *Karboksimetilirovaniye rastitel'nogo syr'ya. Teoriya i praktika*. [Carboxymethylation of plant materials. Theory and practice]. Barnaul, 2010, 167 p. (in Russ.).
11. Bazarnova N.G., Katrakov I.B., Markin V.I., Vereshchagina T.V., Zhilina I.N., Utkova Ye.A., Borisova G.I., Semenkov A.A. *Vestnik altayskoy nauki*, 2013, no. 1, pp. 39–42. (in Russ.).
12. Kalyuta Ye.V., Mal'tsev M.I., Markin V.I., Katrakov I.B., Bazarnova N.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 249–253. DOI: 10.14258/jcprm.1303249. (in Russ.).
13. Kalyuta Ye.V., Mal'tsev M.I., Markin V.I., Katrakov I.B., Bazarnova N.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 145–152. DOI: 10.14258/jcprm.2016021296. (in Russ.).
14. Kalyuta Ye.V., Markin V.I., Mal'tsev M.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 309–317. DOI: 10.14258/jcprm.2018044551. (in Russ.).
15. Kolosov P.V., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Vysokomolekulyarnyye produkty karboksimetilirovaniya rastitel'nogo syr'ya s sorbtsionnymi svoystvami: monografiya*. [High molecular weight products of carboxymethylation of plant materials with sorption properties: monograph]. Barnaul, 2014, 134 p. (in Russ.).
16. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 411 p. (in Russ.).
17. Kalyuta Ye.V., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 2, pp. 29–31. (in Russ.).
18. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)*. [The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, 2011, 352 p. (in Russ.).
19. Voyevodina L.A. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2016, no. 1(21), pp. 134–154. (in Russ.).
20. Kuznetsova I.V. *Pochvovedeniye*, 1979, no. 3, pp. 81–88. (in Russ.).
21. Soil Quality Test Kit Guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. 1999. 82 p.
22. *Teorii i metody fiziki pochv*. [Theories and methods of soil physics]. Ed. Ye.V. Shein, L.O. Karpachevskiy. Moscow, 2007, 616 p. (in Russ.).
23. Milanovskiy Ye.YU. *Gumusovyye veshchestva pochv kak prirodnyye gidrofobno-gidrofil'nyye soyedineniya*. [Humic substances of soils as natural hydrophobic-hydrophilic compounds]. Moscow, 2009, 186 p. (in Russ.).

Received January 5, 2019

Revised May 19, 2019

Accepted June 7, 2019

For citing: Maltsev M.I., Kalyuta E.V., Markin V.I., Katrakov I.B. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 355–362. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019036466.