

О НАБУХАНИИ ГИДРОГЕЛЕЙ В ПОЧВЕ

А. Р. Цыганов¹, Г. А. Чернуха², В. Г. Чернуха³

¹Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь

²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь

³Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
г. Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата в Беларуси в последние десятилетия привело к увеличению частоты засух, что оказывает негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Эксперты считают, что за последние 30 лет годовое количество осадков в Беларуси изменилось на 5–7 %, поэтому говорить о глобальной засухе нельзя. Но поменялось внутригодовое распределение влаги. Задача устойчивого управления водными ресурсами в сельском хозяйстве обуславливает необходимость изучения и внедрения инновационных решений.

Одной из влагосберегающих технологий является внесение в почву гидрогелей-суперабсорбентов воды. Гидрогели представляют собой трехмерные полимерные сетки, образованные за счет электростатической или ковалентной сшивки гидрофильных мономеров. В результате наличия упругой сетки, вода эффективно заполняет внутриводное пространство полимерных гидрогелей. Они обладают очень высокой степенью набухания в воде: до 1 кг воды на 1 г сухого полимера. Поэтому их относят к классу влагопоглотителей (суперабсорбентов).

По происхождению гидрогели делятся на синтетические и природные. Синтетические гидрогели – главным образом полимеры и сополимеры акриламида и акриловой кислоты. Природные гидрогели могут быть синтезированы на основе полисахаридов – целлюлозы, крахмала, гуаровой камеди и др. Биоразлагаемость, биосовместимость, нетоксичность и нерастворимость в большинстве растворителей, а также возможность получения из природного и возобновляемого сырья делает целлюлозу привлекательным источником получения гидрогелей. С экологической точки зрения для внесения в почву предпочтительнее природные полимеры, т. к. они биоразлагаемы и не загрязняют почву. Как у синтетических, так и у натуральных гидрогелей есть свои недостатки: синтетические гидрогели медленно разлагаются из-за невысокой способности к биодegradации, в то же время натуральные, характеризующиеся высокой скоростью биодеструкции, не обладают достаточной механической прочностью и влагоемкостью [1].

В настоящее время порядка 95 % суперабсорбентов применяются при производстве гигиенических изделий для детей и взрослых. Кроме того, их используют в сельском хозяйстве как вещество, способствующее сохранению влаги в почве, что приводит к сокращению потерь урожая, снижению эрозии и вымыванию плодородного слоя почвы, строительстве, нефтехимии и в некоторых других областях человеческой деятельности.

Внедрение гидрогелей в практику сельского хозяйства, несмотря на их положительное влияние на химико-физические свойства почвы, окружающую среду, водный баланс почв и урожайность, происходит недостаточными темпами. Это связано не только с их стоимостью. Анализ литературных источников показал, что не менее важной причиной является отсутствие научно обоснованных рекомендаций по их применению в различных почвенно-климатических зонах [2].

Цель работы – изучить факторы, влияющие на набухание гидрогелей в почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились с 2 видами гидрогелей. Первый – гидрогель природного происхождения Зеба (Индия), который производится из кукурузного крахмала. Представляет собой гранулы белого цвета без запаха. Второй – синтетический гидрогель Bellava (Германия), состоящий из полиакрилата натрия в виде гранул 0,05–0,9 мм, действует в течение 3–4 лет.

В лабораторных опытах изучалось:

– набухание гидрогеля в дистиллированной воде, водной вытяжке из почвы и в стандартном растворе Кнопа. Для этого 1 г сухого гидрогеля равномерно распределялся по сити с отверстиями диаметром менее 0,05 мм, которое помещалось в емкость с водой или водным раствором объемом 1 литр. Степень набухания гидрогеля оценивалась по изменению массы набухшего гидрогеля во времени. Для получения водной вытяжки навеску почвы заливали дистиллированной водой в соотношении 1:5, перемешивали в течение 1 мин. и оставляли на 15 мин. Затем суспензию взбалтывали и фильтровали через бумажный фильтр;

– полная влагоемкость почвы и степень набухания гидрогелей в зависимости от возрастающих доз их внесения;

– влияние распределения гидрогелей в почве на их набухание и полную влагоемкость.

Полную влагоемкость определяли по общепринятой методике с помощью пластмассовых цилиндров высотой около 100 мм и диаметром около 50 мм с сетчатым дном.

Степень набухания гидрогелей в почве рассчитывали исходя из значений увеличения полной влагоемкости почвы за счет применения гидрогелей и дозы их применения.

Опыты проводились с дерново-подзолистой окультуренной среднесуглинистой почвой, развивающейся на лессовидном суглинке, подстилаемым мореной с глубины около 1 м, характеризующейся следующими агрохимическими показателями: гумус – 1,9 %, кислотность 6,5, содержание подвижных форм фосфора и калия 215,3 и 241,6 мг/кг соответственно. Почвенные образцы были просеяны через сито с отверстиями диаметром 1 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучая набухание гидрогелей в дистиллированной воде нами было установлено, что на степень набухания гидрогелей влияет размер сита, на которое помещался гидрогель. Максимальная степень набухания наблюдалась, когда гранулы гидрогеля на сите располагались слоем в одну гранулу. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Динамика набухания гидрогелей

Время набухания, мин.	Масса гидрогеля, г					
	Зеба			Bellava		
	H ₂ O дист.	водная вытяжка из почвы	раствор Кнопа	H ₂ O дист.	водная вытяжка из почвы	раствор Кнопа
0	1	1	1	1	1	1
5	184	111	74	186	153	92
10	240	164	92	248	210	110
15	258	182	84	257	229	104
20	267	188	80	264	244	97
25	270	190	75	268	248	88
30	272	191	69	269	254	83
35	279	195	69	284	257	83
40	284	200	69	288	258	81
45	292	204	68	289	255	81
50	292	207	67	289	255	78
55	293	204	67	290	254	77
60	294	204	66	292	254	76
1440 (1 сутки)	294	231	8	292	240	14
2880 (2 суток)	294	232	8	293	240	13

Установлено, что процесс набухания гидрогелей в дистиллированной воде протекает с высокой скоростью. Так, за первые 5 минут масса гидрогеля увеличилась с 1 г до 184 и 186 г соответственно, что составляло более 60 % от максимального значения. Через 20 мин. масса гидрогелей достигла более 90 % от максимальной. Максимальное значение массы гидрогелей было достигнуто в течение 1 часа. Через сутки и двое суток масса оставалась на достигнутом уровне. Таким образом, экспериментально установлено, что 1 г сухих исследуемых гидрогелей способен абсорбировать порядка 290 мл дистиллированной воды.

Набухание гидрогелей в водной вытяжке из дерново-подзолистой суглинистой почвы протекало медленнее и было адсорбировано соответственно 231 и 239 г воды, что на 21 и 18 % ниже, чем в дистиллированной воде.

В растворе Кнопа набухание обоих гидрогелей наблюдалось лишь в течение первых 10 мин. За это время масса гидрогелей достигла максимума – увеличилась до 92 и 110 г соответственно, что в 2,6 и 2,3 раза ниже, чем за такое же время в дистиллированной воде и 1,8 и 1,9 раз ниже, чем в водной вытяжке из почвы. Затем начался обратный процесс. К концу первого часа наблюдения масса как природного, так и синтетического гидрогелей уменьшилась в 1,4 раз относительно максимальных значений. Через сутки она снизилась в 11,5 и 7,9 раз. Спустя двое суток дальнейшее снижение массы гидрогелей не наблюдалось. В литературных источниках имеются сведения, что при разбавлении раствора Кнопа набухание гидрогелей увеличивается [3].

Полученные результаты свидетельствуют, что максимальная степень набухания гидрогелей наблюдалась в дистиллированной воде, на набухание гидрогелей оказывает влияние состав и концентрация ионов, присутствующих в воде.

Также изучалось влияние возрастающих доз гидрогелей на полную влагоемкость почвы и степень их набухания. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние гидрогелей на полную влагоемкость дерново-подзолистой суглинистой почвы

Вариант опыта	Полная влагоемкость, %		Увеличение, раз		Набухание в расчете на 1 г гидрогеля, г	
	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava
Контроль (без гидрогеля)	41,6	41,6	–	–	–	–
0,5 г на 1 кг почвы	53,2	52,0	1,28	1,25	228,9	204,7
1,0 г на 1 кг почвы	56,4	55,9	1,36	1,34	148,0	143,1
2,5 г на 1 кг почвы	66,4	75,4	1,60	1,81	97,8	133,4
5,0 г на 1 кг почвы	87,5	106,1	2,10	2,55	91,7	129,0
10,0 г на 1 кг почвы	118,2	167,2	2,84	4,02	76,7	125,6

Полная влагоемкость используемой в опытах дерново-подзолистой суглинистой почвы находилась на уровне 41,6 %. Внесение в почву гидрогелей в дозе 0,5 г на 1 кг почвы привело к увеличению полной влагоемкости в 1,25 и 1,28 раз. Повышение дозы гидрогелей до 1,0 г на 1 кг почвы привело к росту полной влагоемкости до 55,9 и 56,4 %, или в 1,34 и 1,36 раз, эффективность гидрогелей была примерно одинакова.

При дозе гидрогелей 2,5 г на 1 кг почвы начали проявляться различия в эффективности гидрогелей: полная влагоемкость почвы при применении Зебы составляла 66,4 %, Bellava – 75,4 %, то есть повысилась в 1,60 и 1,81 раз соответственно. Дальнейшее увеличение доз гидрогелей до 5,0 и 10,0 г привело к увеличению полной влагоемкости в 2,10 и 2,55 раз и 2,84 и 4,02 раз соответственно.

В то же время степень набухания гидрогелей в расчете на 1 г с увеличением их доз применения снижалась. Так, при дозе гидрогеля Зеба 0,5 г на 1 кг почвы она была меньше, чем в дистиллированной воде в 1,28 раз, Bellava – 1,43 раз и была немного ниже уровня значений, характеризующих степень набухания гидрогелей в водной вытяжке из этой же почвы (табл. 1). При дозе 1,0 г на 1 кг почвы степень набухания снизилась по сравнению с предыдущим вариантом в 1,55 и 1,43 раз. В вариантах с дозой 10,0 г на 1 кг почвы этот показатель снизился в 2,98 и 1,63 раз. Это обусловлено усилением сдавливания набухающего гидрогеля частицами почвы за счет увеличения объема набухших частиц самого гидрогеля.

Далее нами изучалось влияние распределения гидрогелей в почве на ее полную влагоемкость. Для этого гидрогели вносились поверхностно, а также равномерно в слои почвы 0–2 см, 0–4 см и т. д. Нами предполагалось, что в зависимости от глубины заделки гидрогелей будет изменяться степень их сдавливания частичками почвы и соответственно полная влагоемкость, то есть чем глубже вносится в почву гидрогель, тем сильнее он сдавливается. Во всех вариантах данного опыта гидрогели вносились в дозе 2,5 г на кг почвы. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние распределения гидрогеля в почве на полную влагоемкость

Слой почвы, см	Полная влагоемкость почвы, %		Повышение за счет гидрогелей, %		± относительно контроля, раз		Набухание в расчете на 1 г гидрогеля, г	
	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava
0–2 (контроль)	76,6	81,4	35,0	39,8	–	–	140,0	159,2
0–2*	89,3	92,5	47,7	50,9	+1,17	+1,08	190,8	203,6
0–4	72,2	75,5	30,6	33,9	–1,06	–1,11	122,4	135,6
0–6	62,5	68,0	20,9	26,4	–1,23	–1,20	83,6	105,6
0–8	57,4	64,1	15,8	22,5	–1,33	–1,27	63,2	90,0
0–10	54,4	61,4	12,8	19,8	–1,41	–1,33	51,2	79,2

* поверхностное внесение гидрогеля.

Опыты подтвердили наши предположения. Было установлено, что при одной и той же дозе гидрогелей в расчете на 1 кг почвы эффективность влияния на полную влагоемкость почвы зависит от их распределения в почве. Полная влагоемкость исследуемой почвы без применения гидрогелей составляла 41,6 % (табл. 2). При равномерном распределении гидрогелей в 2-сантиметровом слое почвы ее полная влагоемкость повысилась до 76,6 и 81,4 % соответственно. При этом поверхностное внесение эквивалентного количества гидрогелей обеспечило еще большее повышение полной влагоемкости до 89,3 и 92,5.

При внесении гидрогелей в 4-сантиметровый слой почвы наблюдалось снижение полной влагоемкости относительно контрольного варианта в 1,06 и 1,08 раз. При дальнейшем увеличении толщины слоев почвы происходило постепенное снижение эффективности влияния гидрогелей на ее полную влагоемкость: при внесении гидрогелей в 6-сантиметровый слой в 1,23 и 1,20 раз, в 10-сантиметровый слой – в 1,41 и 1,33 раз соответственно. Причем во всех вариантах опыта более эффективным в 1,04–1,13 раз было применение гидрогеля Bellava.

Таким образом, при заделке гидрогелей в почву они подвергаются сдавливанию частицами почвы и чем на большую глубину в почву вносятся гидрогели, тем больше эффект сдавливания. При набухании гидрогелей это воздействие усиливается.

Соответственно изменялась степень набухания гидрогелей. Максимальные значения наблюдались при поверхностном внесении гидрогелей: масса гидрогелей при набухании увеличилась с 1 г до 191,2 и 203,6 г соответственно. Эти значения сопоставимы с результатами, полученными при изучении набухания гидрогелей в водной вытяжке из почвы (табл. 1). При равномерном распределении гидрогелей в 2-сантиметровом слое почвы масса гидрогелей при набухании была меньше, чем при поверхностном внесении в 1,37 и 1,28 раз, при внесении в 10-сантиметровый слой наблюдалось дальнейшее снижение – в 2,73 и 2,01 раз соответственно.

Полученные результаты согласуются с выводами ученых из Принстонского университета, которые изучали причины, по которым внесение гидрогеля в почву не всегда приводит к желаемым результатам. Для этого они разработали заменитель

почвы, который позволял наблюдать за гидрогелями и продемонстрировали, что количество воды, сохраняемой гидрогелями, контролируется балансом между силой, создаваемой при набухании гидрогеля в воде, и сдерживающей силой окружающей почвы. В результате гидрогели поглощают большое количество воды при смешивании с поверхностными слоями почвы, но не работают так хорошо в глубине, где испытывают нарастающее давление [4].

Результаты, приведенные в таблице 3, позволяют оценить, как изменяется полная влагоемкость 2-сантиметровых слоев почвы и набухание в них гидрогелей в зависимости глубины их заделки. Полученные результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Влияние глубины заделки гидрогеля в почву на полную влагоемкость и набухание гидрогелей

Глубина заделки гидрогеля, см	Полная влагоемкость почвы, %		Повышение за счет гидрогелей, раз		Набухание в расчете на 1 г гидрогеля	
	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava	Зеба	Bellava
0–2 (контроль)	76,6	81,4	1,84	1,96	140,0	159,2
2–4	67,4	69,6	1,62	1,67	103,2	112,0
4–6	45,9	53,0	1,10	1,27	17,2	45,9
6–8	42,1	52,4	1,01	1,26	2,0	43,2
8–10	42,4	50,6	1,02	1,22	3,2	36,0

Как ранее указывалось, полная влагоемкость почвы без внесения гидрогелей составляла 41,6 % (табл. 2). При внесении по 2,5 г гидрогелей Зеба и Bellava на 1 кг почвы в 2-сантиметровый слой ее полная влагоемкость увеличилась в 1,84 и 1,96 раз соответственно.

Та же доза гидрогелей в слое почвы 2–4 см повысила ее полную влагоемкость в меньшей степени – в 1,62 и 1,51 раз соответственно.

В слое почвы 4–6 см эффективность влияния гидрогелей на полную влагоемкость почвы была еще ниже. При внесении гидрогеля Зеба в слои почвы 6–8 и 8–10 см ее полная влагоемкость практически не изменялась и оставалась на уровне варианта без применения гидрогеля. Гидрогель Bellava продемонстрировал большую устойчивость к сдавливанию частицами почвы, что обеспечило повышение полной влагоемкости почвы 1,26 и 1,25 раз.

Аналогично изменялась степень набухания гидрогелей в зависимости от глубины заделки их в почву. В верхнем 2-сантиметровом слое почвы она была максимальной – 140,0 и 159,2 г в расчете на 1 г гидрогеля соответственно. В слое почвы 2–4 см она была ниже в 1,36 и 1,88 раз. В слоях почвы 6–8 и 8–10 см степень набухания гидрогеля Зеба снизилась относительно контроля более, чем в 40 раз и из-за сдавливания частицами почвы он потерял способность поглощать воду. В то же время степень набухания гидрогеля Bellava снизилась в меньшей степени – примерно в 4,0 раза и его применение повысило полную влагоемкость на 10,8 и 9,0 % относительно варианта, где гидрогель не применялся.

ВЫВОДЫ

Установлено, что 1 г сухих гидрогелей Зеба и Bellava способен абсорбировать порядка 290 мл дистиллированной воды. В водных растворах степень набухания гидрогелей ниже, на нее оказывают влияние состав и концентрация присутствующих ионов.

Равномерное внесение исследуемых гидрогелей в дерново-подзолистую окультуренную среднесуглинистую почву в дозах от 0,5 до 10,0 г на 1 кг почвы позволило увеличить ее полную влагоемкость в 1,25–4,02 раз. При этом степень набухания гидрогелей в почве в расчете на 1 г была ниже, чем в дистиллированной воде в 1,3–3,8 раз и с увеличением их доз применения она снижалась. Это обусловлено усилением сдавливания набухающего гидрогеля частицами почвы за счет увеличения объема набухших частиц самого гидрогеля.

Эффективность влияния гидрогелей на полную влагоемкость почвы зависела от толщины слоя почв, в котором они равномерно распределены. При внесении гидрогелей в 2-сантиметровый слой почвы ее полная влагоемкость увеличивалась относительно варианта без применения гидрогелей в 1,8 и 2,0 раза, а при внесении в 10-сантиметровый слой в той же дозе – только в 1,3 и 1,5 раза соответственно.

Максимальная степень набухания гидрогелей наблюдались при их поверхностном внесении в почву: масса гидрогелей увеличилась с 1 г до 191,2 и 203,6 г соответственно. При их внесении в 2-сантиметровый слой она была меньше в 1,4 и 1,3 раза, а при внесении в 10-сантиметровый слой в 4,0 и 2,4 раза соответственно.

Полная влагоемкость 2-сантиметровых слоев дерново-подзолистой окультуренной среднесуглинистой почвы и набухание в них гидрогелей снижались с увеличением глубины их заделки. При внесении гидрогеля Зеба в слои почвы 6–8 и 8–10 см его степень набухания была очень низкой и практически не влияла на полную влагоемкость. Степень набухания гидрогеля Bellava в слоях почвы 4–6, 6–8 и 8–10 см снизилась относительно слоя 0–2 см в 4–5 раз, но была выше, чем у гидрогеля Зеба.

Полученные результаты позволяют утверждать, что степень набухания гидрогелей в почве зависит от состава и концентрации ионов, присутствующих в воде и баланса между силой, создаваемой набухающим гидрогелем, и сдерживающей силой окружающих частиц почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова, Ю. Г. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) / Ю. Г. Максимова, В. А. Щетко, А. Ю. Максимов // *Сельскохозяйственная биология*. – 2023. – Т. 58. – № 1. – С. 23–42.
2. Ревенко, В. Ю. Использование гидрогелей в растениеводстве / В. Ю. Ревенко, О. М. Агафонов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2018. – № 11–2. – С. 59–65.
3. Данилова, Т. Н. Влияние полимерного геля «РИТИН-10» на водно-физические свойства почв / Т. Н. Данилова // *Агрофизика*. – 2013. – № 210). – С. 38–43.
4. Under pressure: Hydrogel swelling in a granular medium [Electronic resource] / ed. Jean-François Louf, Nancy B. Lu, Margaret G. O'Connell, H. Jeremy Cho, Sujit S. Datta. – *Science Advances*, 2021, Volume 7, Issue 7. – Mode of access: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abd2711> – Date of access: 14.03.2024.

ON THE SWELLING OF HYDROGELS IN THE SOIL

A. R. Tsyganov, G. A. Chernukha, V. G. Chernukha

Summary

In laboratory experiments, it was found that the swelling rating of hydrogels in soil is lower than in distilled water and depends on the composition and concentration of ions dissolved in water and the balance between the force created by the swelling hydrogel and the restraining force of the surrounding soil particles.

The maximum swelling rating of hydrogels when applied to sod-podzolic cultivated middle loamy soil was observed with their surface application, with an increase in the depth of their embedding, it decreased. For this reason, soil application of Zeba hydrogel to a depth of 6–10 cm did not affect its maximum water-holding capacity. Under the same conditions, Bellava hydrogel has demonstrated greater resistance to compression by soil particles.

Поступила 02.05.24