

# Конденсированные среды и межфазные границы

## Оригинальные статьи

DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2020.22/2530>

Поступила в редакцию 30.01.2020

Принята к публикации 15.02.2020

Опубликована онлайн 25.03.2020

ISSN 1606-867X

eISSN 2687-0711

УДК 537.226

## Синтез и гидратационные свойства суперабсорбента «Твердая вода»

© 2020 А. В. Зенищева<sup>✉</sup>, В. Н. Семенов, В. А. Кузнецов, П. О. Кущев

Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж 394018, Российская Федерация

### Аннотация

Глобальное потепление повлекло за собой ряд вопросов для сельского хозяйства. Наиболее остро встала проблема влагоудержания в почве. Существующие методы орошения дорогостоящи и малоэффективны. Для решения данной проблемы проведен синтез редкосшитого гидрофильного полимерного материала со свойствами суперабсорбента с использованием пектина.

Рассмотрена схема строения и влагопоглощения полимерного материала «Твердая вода». Методом ИК-спектроскопии определены гидратационные свойства исходного суперабсорбента после его контакта с пектинами. В ходе исследований выявлено, что возможность адсорбировать воду обеспечивается наличием в структуре коротких по размеру остатков акриламида, фрагментов с остатками карбоксильных групп и полисахаридных звеньев. Суперабсорбент с пектином в качестве биодegradирующего компонента способен даже при длительном высушивании удерживать часть гидратационной воды. Показано влияние pH среды на водопоглощающие способности и набухание суперабсорбентов «Твердая вода». Проведение исследования в дистиллированной воде, а также щелочной и кислых средах дает возможность применять полученный суперабсорбент в разных типах почв. Этот полимер характеризуется наивысшими показателями по величине степени набухания в щелочной среде, что обусловлено электростатическим отталкиванием диссоциированных карбоксильных групп, образующихся в результате гидролиза акриламида. Это делает его пригодным для использования в выщелоченных почвах, например, в выщелоченном черноземе Воронежской области.

Результаты ИК-спектроскопии показали наличие функциональных групп суперабсорбента, участвующих в образовании супрамолекулярных структур с вхождением в них связанных молекул воды без образования дополнительных ковалентных координационных связей. Все это позволяет характеризовать реакции как процессы с элементами самоорганизации системы.

**Ключевые слова:** суперабсорбент, гидратационные свойства, влагопоглощение, пектин, ИК-спектры.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда содействия инновациям «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (договор о предоставлении гранта No. 2598ГС/41289).

**Для цитирования:** Зенищева А. В., Семенов В. Н., Кузнецов В. А. Кущев П. О. Синтез и гидратационные свойства суперабсорбента «Твердая вода». *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2020;22(1): 66–74. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2020.22/2530>

### 1. Введение

Резкие климатические изменения последних лет привели к глобальному потеплению, что повлекло за собой расширение зон засушливых районов и возрастание риска земледелия в этих зонах. Поэтому одной из важнейших задач современного сельского хозяйства является поддержание необходимого уровня влажности и пло-

дородия почв для получения высоких урожаев. Для решения этих проблем традиционно применяют орошение и внесение в почву минеральных удобрений, микроэлементов и микроорганизмов. Однако применяемые методы гидроме-лиорации в районах, имеющих недостаточные запасы пресной воды, являются сложными, дорогостоящими и низкоэффективными. Внесение больших количеств минеральных удобрений

✉ Зенищева Анна Витальевна, e-mail: [anvitz@mail.ru](mailto:anvitz@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

приводит к необратимым изменениям pH почвы, риску ее засоления и потере ее плодородности, загрязнению грунтовых вод производными азотной и фосфорных кислот, негативно сказывающихся на состоянии растительных организмов, потребляющих такую воду [1].

Перспективным способом решения указанных проблем является использование новых композитных органических гидрофильных полимерных материалов, способных к многократному поглощению, а затем к медленному выделению в почву поглощенной воды без изменения их свойств [2]. Такие полимеры можно использовать в качестве резервуаров воды для поддержания требуемого уровня влажности и различных добавок в широком интервале температур на протяжении нескольких лет.

Ранее был осуществлен синтез редкосшитого полимерного материала со свойствами суперсорбента с добавлением в его структуру биodeградируемых фрагментов, которые при использовании в почве разлагаются, увеличивая при этом влагоемкость и насыщая почву необходимым для нормальной вегетации растений азотом [3]. В качестве одного из таких фрагментов выступал пектин.

Целью данной работы являлась разработка синтеза полимерных биоразлагаемых композитов со свойствами суперсорбента и изучение гидратационных свойств исходного материала «Твердая вода».

## 2. Экспериментальная часть

Первым этапом синтеза являлась подготовка раствора биodeградирующего компонента в стеклянном реакторе при 40 °C и окислительно-восстановительной иницирующей системы  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  для иницирования радикальной полимеризации. Данную смесь выдерживали в течение 30 минут при интенсивном перемешивании, а затем в реактор вводили раствор акриламида и сшивающего агента. Второй этап синтеза проходил при перемешивании в течение 5 часов при температуре 40 °C.

Полученные редкосшитые суперсорбенты с различным содержанием биodeградирующих компонентов и специфических добавок высушивали в токе теплого воздуха, а излишки влаги удаляли с помощью ацетона или изопропилового спирта. Высушенный полимерный материал измельчали и использовали для испытаний [3].

Определение влагопоглощения полимером воды проводили по следующей методике. Взвешивали одинаковые навески (0.2 г) супераб-

сорбента и помещали в мешочки из органзы. Эта ткань пропускает воду, но практически не поглощает ее. Каждый мешочек с навеской полимера вносили в отдельный стакан с 500 мл воды. Затем стакан герметично закрывали и через 24 часа мешочки с образцами извлекали из стаканов. Объем оставшейся воды измеряли при помощи мерного цилиндра и по разнице между исходным и оставшимся объемом воды находили объем воды, который поглощал образец. Затем проводили расчет с учетом адсорбции воды 1 кг полимера.

ИК-спектроскопическое исследование порошкообразных образцов, закрепленных держателем на чувствительной поверхности призмы, проводили на ИК-спектрометре с Фурье-преобразователем Bruker Vertex 70 на одноходовой приставке НПВО «Platina».

## 3. Результаты и обсуждение

Специфической особенностью структура суперсорбента «Твердая вода» обязана как подбором для синтеза соответствующих мономеров, так и разработке условий самого синтеза. На рис. 1 представлена одна из возможных схем строения суперсорбента, из которой следует,

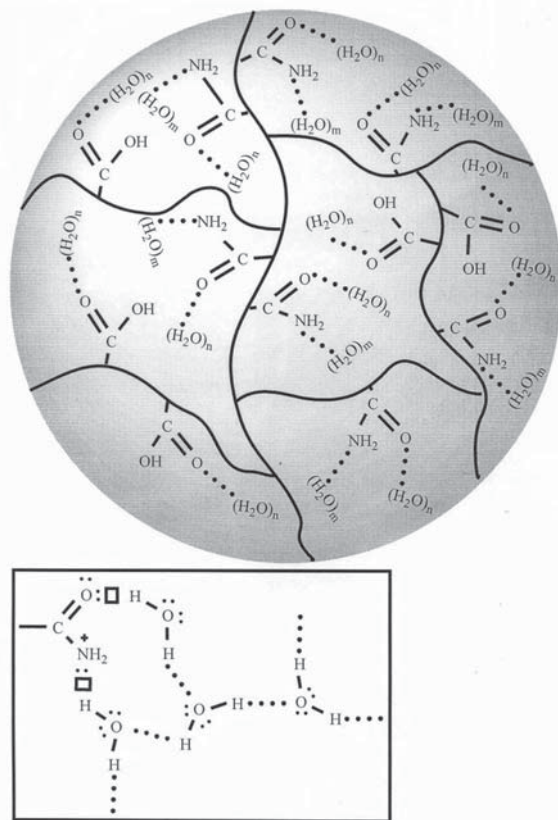
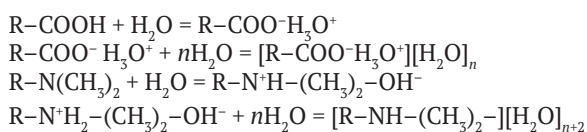


Рис. 1. Схема полимера

что возможность адсорбировать воду обеспечивается наличием в структуре коротких по размеру остатков акриламида, фрагментов с остатками карбоксильных групп и полисахаридных звеньев. Необходимым условием значительных количеств поглощаемой сорбентом воды является механическая устойчивость полиэлектролитных цепей в процессах ассоциации и реассоциации молекул растворителя.

В этом плане можно говорить об общих свойствах полиэлектролитных цепей суперсорбента и межклеточных мембран, которые способны обеспечивать фактически беспрепятственный транспорт молекул воды (рис. 2, ).



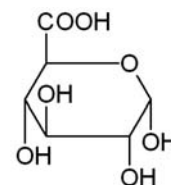
**Рис. 2.** Общая схема водопоглощения сорбентами

Целостность исключительно тонких структур поддерживается в полиэлектролитных цепях в «Твердой воде», как и для биомембран, за счет полярных взаимодействий и дисперсионных связей. Не существует никаких данных, которые свидетельствовали бы о наличии ковалентных и координационных связей между последовательно расположенными молекулами липидов, между прилегающими друг к другу липидными и белковыми молекулами в мембранах. Аналогичный эффект проявляется и при взаимодействии полиэлектролитных цепей полимера «Твердая вода» с амидными и -COOH-группировками соседних цепей. Отличием в рассматриваемом случае является то, что основу межклеточных мембран составляют фосфолипиды, а цепей «Твердой воды» – полисахаридные остатки [4].

Следует подчеркнуть, что полисахаридные цепочки в «Твердой воде» и биомембраны спо-

собны к самосборке, что соответствует минимуму свободной энергии в системах [6, 7]. Определенная роль в процессах самосборки и в самоорганизации супрамолекулярных структур в суперсорбенте принадлежит пектинам.

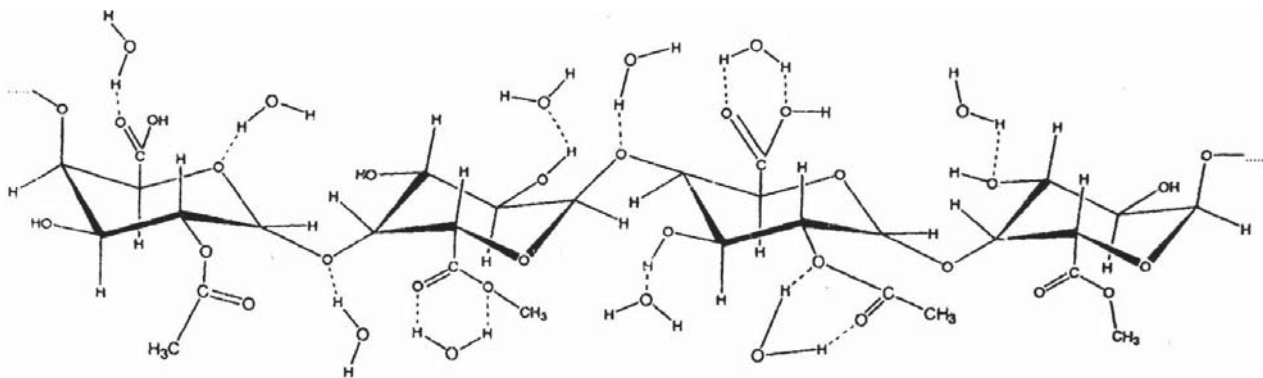
Известно, что к пектиновым веществам относятся полиурониды, содержащиеся в растворимой или нерастворимой формах во всех наземных растениях и во многих водорослях. Нерастворимые в воде (при  $t = 5-15^\circ C$ ) пектиновые компоненты растений называют протопектином. Фактически пектиновые вещества являются смесью, из которой путем выпаривания воды и последующего растворения высушенного порошка в  $70^\circ$ -ном этиловом спирте удалось [8, 9] отделить растворимую часть (25–30 %) от нерастворимой. Компонент, перешедший в раствор, относят к полисахаридам (арабанам) (которые при нагревании в разбавленных кислотах гидролизуются до 1-арабинозы). Пектиновые вещества, не растворяющиеся в  $70^\circ$ -ном спирте, носят название собственно пектина. Основным моносахаридом, входящим в состав пектина, является D-галактурановая кислота (рис. 4).



**Рис. 4.** D-галактурановая кислота

Фактически пектин – это частично этерифицированная, то есть содержащая  $[-O-CH_3]$ -группы, полигалактурановая кислота. Подобно целлюлозе, как считают авторы в [8, 9], пектин имеет цепное строение (рис. 5).

Однако такое распространенное мнение можно считать несколько упрощенным. В ряде случаев цепи пектина могут быть разветвлены (рис. 6).



**Рис. 3.** Схема взаимодействия воды и пектина [5]

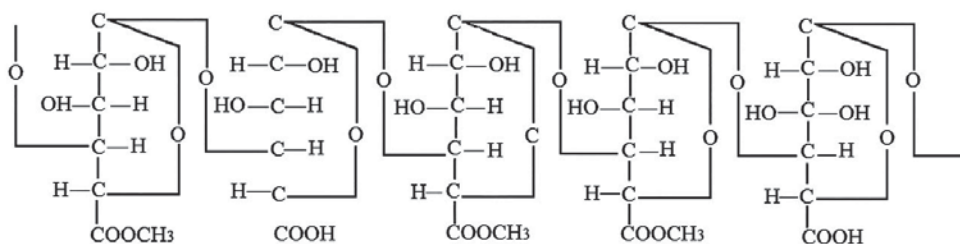


Рис. 5. Строение пектина

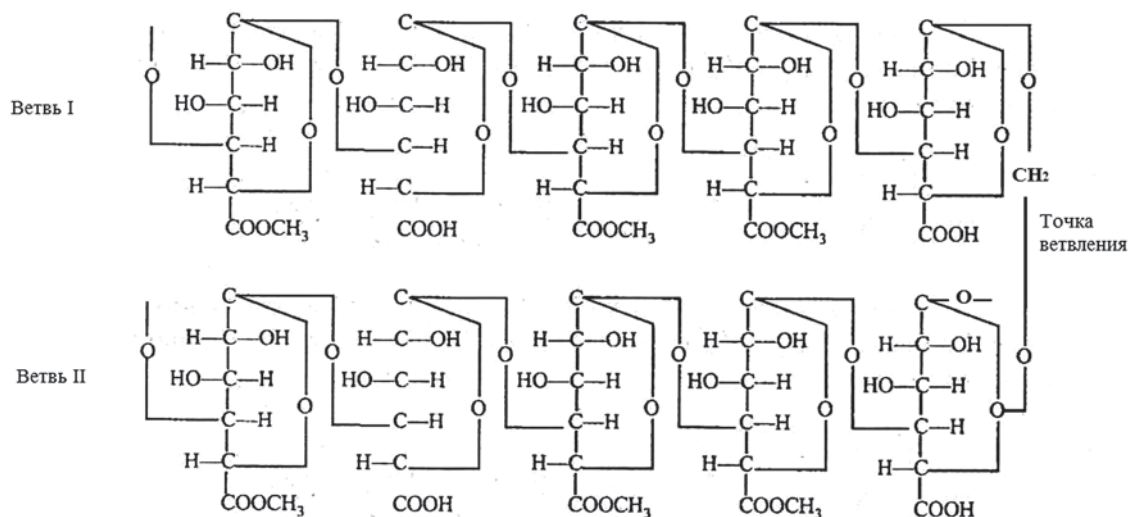


Рис. 6. Разветвленные цепи пектина

Остов такой разветвленной молекулы имеет в точке ветвления гликозидную связь  $\alpha(1\rightarrow5)$ -типа, а в ветвях –  $\alpha(1\rightarrow4)$ -типа.

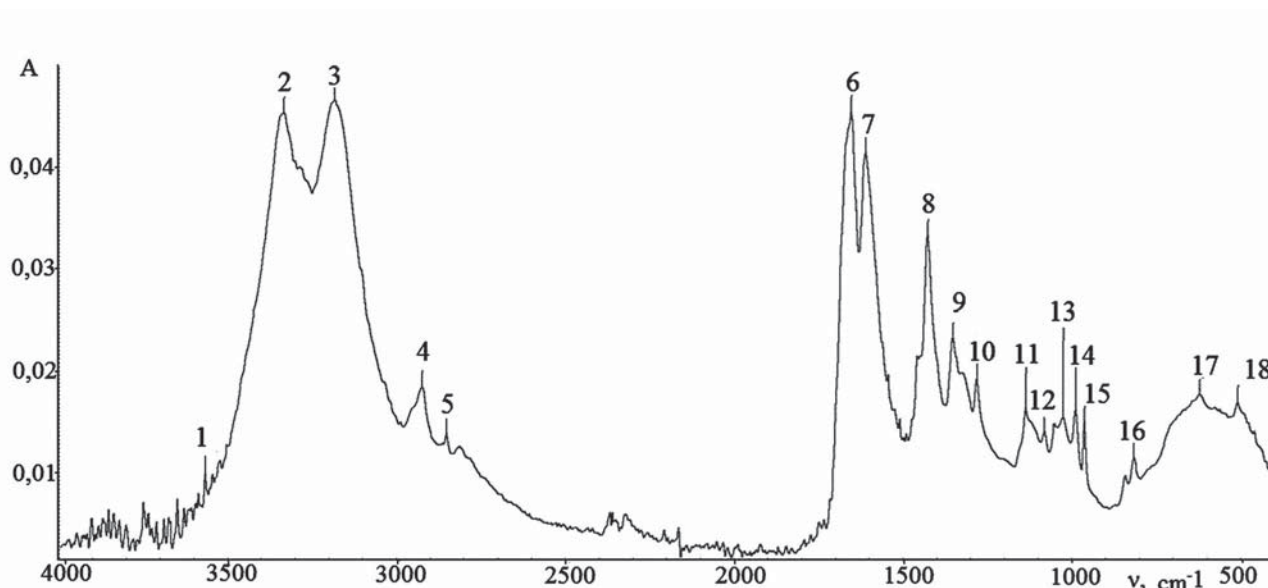
Для подтверждения предлагаемой на рис. 1 схемы были получены ИК-спектры исходного суперабсорбента пектина и суперабсорбента после дополнительного взаимодействия с полисахаридом (рис. 7–9). Полученные результаты представлены в табл. 1. Можно считать доказанным, что в полимере «Твердая вода» существенную роль в образовании короткоцепных фрагментов играют амиды. Причем подобный эффект для исходного полимера с пектином подтверждается наличием в ИК-спектрах не только полос поглощения Амид I (3322, 3260, 3185  $\text{см}^{-1}$ ), но и максимумов, характерных (C–N и  $\sigma_s$  NH<sub>2</sub> в амидах) Амид II (1641, 1610, 1464  $\text{см}^{-1}$ ), а также Амид III (750, 669, 550  $\text{см}^{-1}$ ) [7, 10–12].

В ИК-спектрах суперабсорбента после взаимодействия с пектином проявляются пики, характерные 6-членным пиранозным циклам D-галактуроновой кислоты (1117  $\text{см}^{-1}$ ) [7, 10–12].

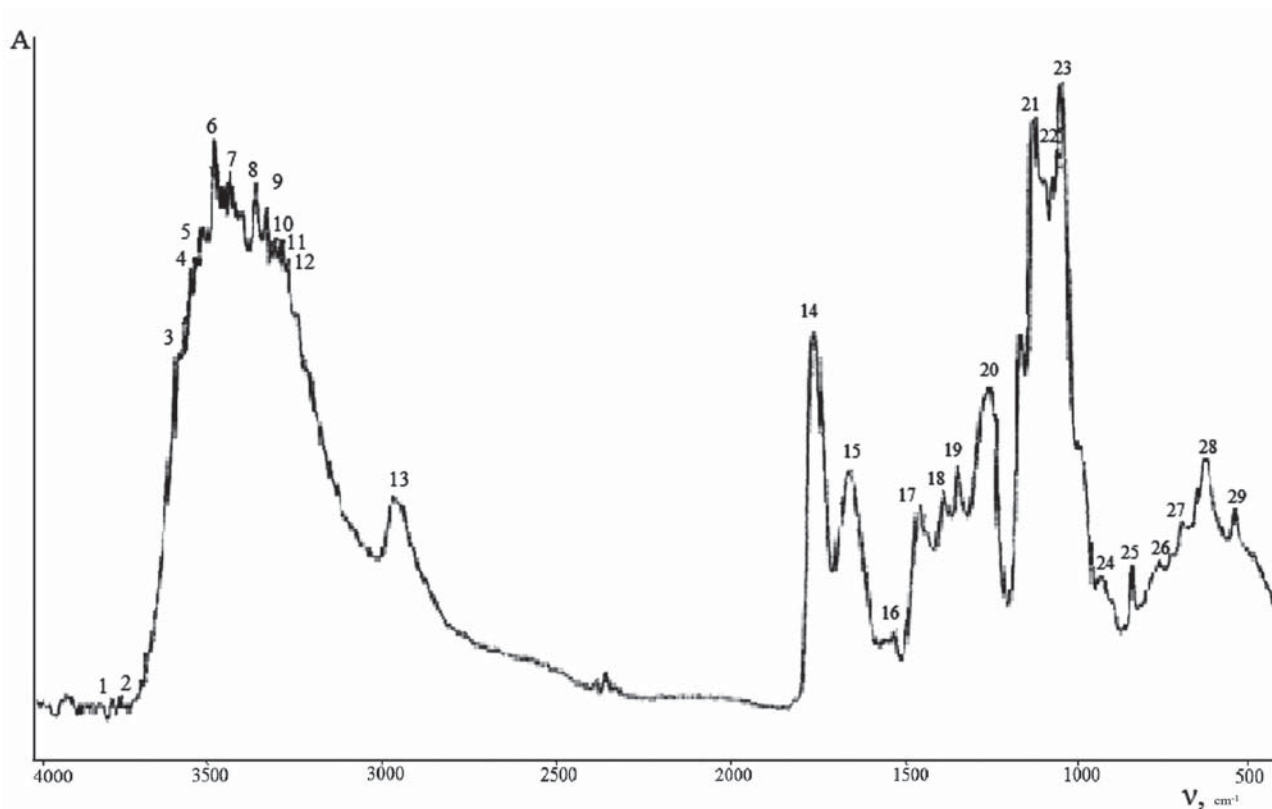
В ИК-спектре полимерного материала присутствуют полосы поглощения при 1653 и 1609  $\text{см}^{-1}$ , соответствующие валентным колеба-

ниям C=O-группы (амид I) и составных частот деформационных колебаний и C–N NH-группы (амид II) амидных фрагментов [13]. Широкие полосы поглощения при 3184–3332  $\text{см}^{-1}$  показывают наличие OH и NH<sub>2</sub>-групп биodeградируемого компонента [11, 14–16]. С другой стороны, суперабсорбент (СА) может быть охарактеризован как полимер, проявляющий в нейтральной области pH биполярную функцию [15–17], в этом случае полимерная сетка образца «Твердой воды», сформированная из полисахаридных звеньев, а также остатков акриламида, будет содержать карбоксильные группы, образующие с водой гидратные структуры ( $\nu$  3206  $\text{см}^{-1}$ ,  $\delta$  1653  $\text{см}^{-1}$  – валентные и деформационные колебания OH групп соответственно) [15–16]. Кроме этого, короткоцепочечные фрагменты полимера «Твердая вода» содержат остатки COOH-групп, не ассоциированных друг с другом или функционирующих как димеры (1735, 1309, 1240  $\text{см}^{-1}$ ) соответственно [10, 12].

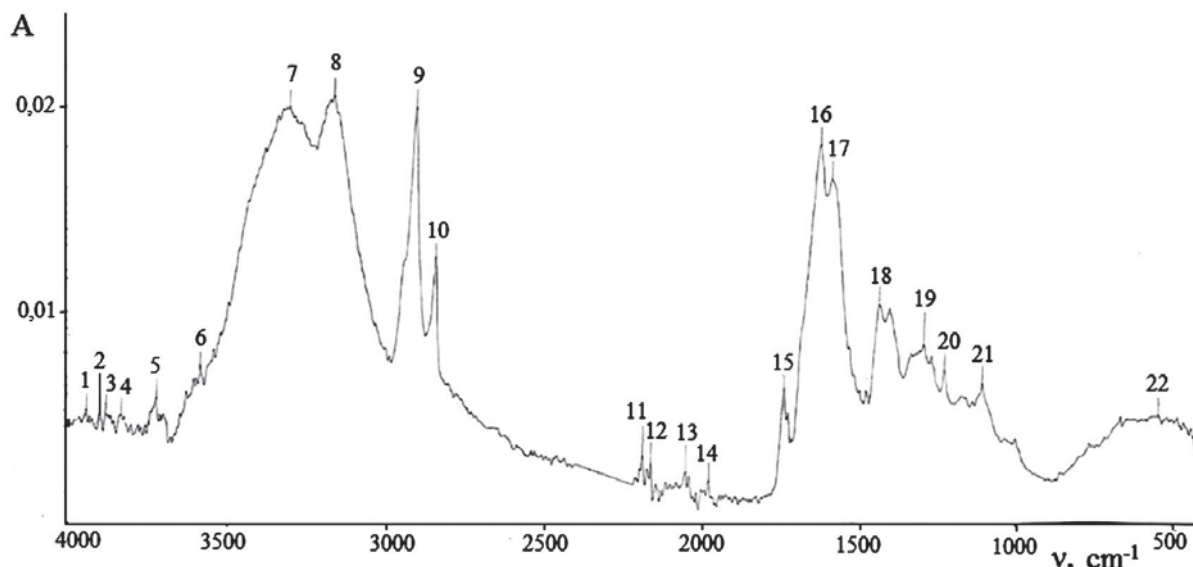
Для суперабсорбента «Твердая вода» можно сделать достоверные предположения о влиянии pH среды на водопоглощающие способности и набухание полимеров. Полимерную сетку образцов «Твердой воды» образуют полисахарид-



**Рис. 7.** ИК-спектры исходного суперабсорбента (крахмал+акриламид+2% сшивающего агента) (1 – 3566; 2 – 3332; 3 – 3184; 4 – 2924; 5 – 2852; 6 – 1653; 7 – 1609; 8 – 1426; 9 – 1351; 10 – 1280; 11 – 1135; 12 – 1080; 13 – 1025; 14 – 988; 15 – 961; 16 – 815; 17 – 621; 18 – 508  $\text{cm}^{-1}$ )



**Рис. 8.** ИК-спектр спиртоосажденного свекловичного пектина [5] (1 – 3756; 2 – 3736; 3 – 3663; 4 – 3524; 5 – 3492; 6 – 3452; 7 – 3411; 8 – 3399; 9 – 3307; 10 – 3268; 11 – 3263; 12 – 3253; 13 – 2948; 14 – 1739; 15 – 1640; 16 – 1618; 17 – 1441; 18 – 1370; 19 – 1329; 20 – 1236; 21 – 1148; 22 – 1102; 23 – 1049; 24 – 1023; 25 – 918; 26 – 831; 27 – 751; 28 – 684; 29 – 620; 30 – 666  $\text{cm}^{-1}$ )



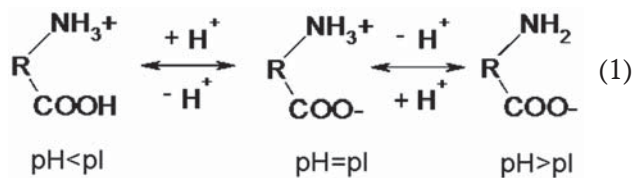
**Рис. 9.** ИК-спектры суперабсорбента «Твердая вода» (пектин + акриламид + 2 % сшивающего агента), выдержанного при 50°C в течении 72 часов (1 – 3943; 2 – 3900; 3 – 3881; 4 – 3833; 5 – 3725; 6 – 3587; 7 – 3322; 8 – 3184; 9 – 2924; 10 – 2853; 11 – 2189; 12 – 2162; 13 – 2052; 14 – 1979; 15 – 1744; 16 – 1648; 17 – 1610; 18 – 1454; 19 – 1307; 20 – 1240; 21 – 1117; 22 – 550  $\text{cm}^{-1}$ )

**Табл. 1.** Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах редкосшитого полимерного материала со свойствами суперабсорбента и пектина

Исходный полимер	$\nu, \text{cm}^{-1}$		Отнесение полос поглощения
	Пектин	Исходный полимер + пектин	
–	–	3587	$\nu_s \text{NH}_2$ свободная в амидах; $\nu_s \text{OH}_2 \cdots \text{H}_2\text{O}$ $\nu_s \text{OH}_2 \cdots \text{H}_2\text{O}$
–	3450	–	
–	3403	–	
3362	3346	–	$\nu_s \text{NH}_2$ связанная в первичных амидах; $\nu_s \text{OH}_2 \cdots \text{O}=\text{C}$ ассоц. в первичных амидах (Амид I), $\nu_s \text{OH}_2 \cdots \text{O}=\text{C}$ ассоц. с $\text{COOH}$ -группами
–	3318	3322	
3285	3261	3260	
3180	3185	3185	
2928	2941	2928	$\nu_{\text{as}} \text{CH}_2$ ; $\nu_s \text{CH}_2$ ;
2852	–	2853	
2322	2340	–	–ОН в $\text{COOH}$ (связаная)
–	–	2189	
–	1735	1735	$\nu \text{C}=\text{O}$ в $\text{COOH}$
1641	–	1648	$\nu \text{C-N}$ и $\sigma_s \text{NH}$ в амидах (Амид II); $\nu_{\text{as}} \text{H}_2\text{O}$
1605	1617	1610	
–	1518	1464	
1406	1419	1406	Амид III; $\sigma$ -ОН пиранозных колец;
1380	1371	–	
–	1330	1309	Веерные $\text{CH}_2$ ; – $\text{COOH}$ в димерах;
1277	1238	1240	Маятниковые $\sigma_s \text{CH}$ , имеющие в конце – $\text{COOH}$ ;
–	1146	1152	
1106	1102	1117	$\nu_s \text{OH}_2$ в 6-членных циклах
–	1023	–	
962	962	979	
–	930	–	$(\text{CH}_2)_n$ – маятниковые
–	831	815	
–	–	750	Амид III; $\sigma_s \text{CH}$ в циклах
–	687	669	
–	617	–	
–	536	550	

ридные звенья и остатки акриламида, обуславливающие наличие амидных и карбоксильных групп (рис. 3). Влияние ОН-групп полисахаридных групп на формирование гидратных структур позволяет рассматривать влагопоглощение как процесс разупорядочивания (разрушения) ассоциатов «вода-вода» во всех областях концентраций.

Однако при максимальном влагопоглощении структуру воды необходимо считать однородной, т. е. молекулы воды находятся в едином каркасе с частично заполненными пустотами [12, 16]. Присутствие карбоксильных и аминогрупп позволяет рассматривать суперабсорбенты как амфолиты [15–16], способные существовать в катионной (кислая среда), в биполярной (рН = 7) и анионной формах (схема 1):



где pI – изоэлектрическая точка.

Использование суперабсорбента при удерживании воды для различного типа почв требует знания их набухаемости в зависимости от рН среды. Поэтому была установлена предельная способность набухания образцов различных суперабсорбентов, которую исследовали в дистиллированной воды (рН = 6.8±0.2), а также щелочной и кислых средах. Такой выбор условия обусловлен тем, что почвы, в которых могут использоваться эти сорбенты, также характеризуются широким значением величин рН. Результаты исследования представлены в табл. 2.

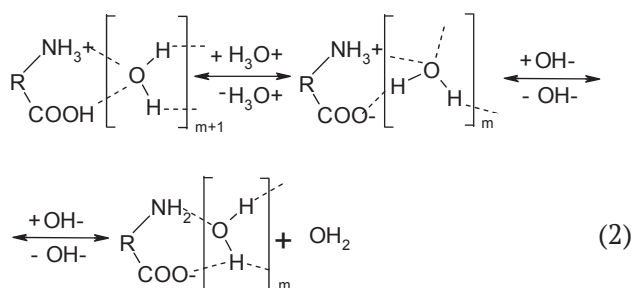
**Таблица 2.** Степень набухания образца суперабсорбента

Суперабсорбент	Степень набухания, ω, %		
	Дистиллированная вода	0.1 М HCl	0.1 М NaOH
Твердая вода, тип I	98.90	97.10	112.86

Как видно из приведенных данных, все исследуемые образцы имеют практически одинаковые показатели степени набухания (ω). Однако в кислой и щелочной средах значение ω для сорбента «Твердая вода» несколько меньше по сравнению с величиной, полученной в дистиллированной водой. В этом случае воздействие на

структуру воды оказывают влияние на неэлектролиты (гидроксильные группы полисахаридных звеньев) и электролиты (–COO<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, –NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) [17, 18]. Среди полученных нами образцов сорбентов «Твердая вода» наилучшие показатели по набуханию показал образец «Твердой воды», при синтезе которого использован гидрофильный сшивающий агент N,N-метилен-бис-акриламид. Этот образец характеризуется наивысшими показателями по величине ω в щелочной среде, что обусловлено электростатическим отталкиванием диссоциированных карбоксильных групп, образующихся в результате гидролиза акриламида. Это делает его пригодным для использования в выщелоченных почвах, например, черноземе Воронежской области.

Переход из одной ионной формы в другую происходит с участием молекул воды и сопровождается образованием первого гидратного слоя (ближняя гидратация) [18] (схема 2):

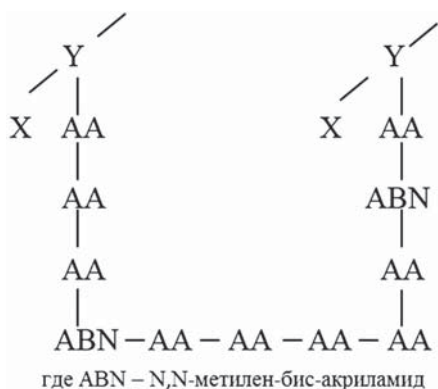


Дальнейшее поглощение воды сорбентом (дальняя гидратация) происходит за счет образования Н-связей между молекулами растворителя.

Один из возможных вариантов формирования полимерного каркаса суперабсорбента «Твердая вода» может быть связан с образованием мешковидных макромолекул сложного полисахарид-акриламида (АА). Обозначив ветвь I на рис. 10 символом «X», а ветвь II- символом «Y», схематично формирование «полисахарид (пектин)-акриламид» можно представить следующим образом:

Предлагаемая схема в определенной степени объясняет способность суперабсорбента к гидратации и поглощению им значительных по массе количеств воды [19].

Подтверждением этого служат ИК-спектры исходного суперабсорбента (пектин + акриламид + 2 % сшивающего агента), представленные на рис. 9. Указанный образец высушивался в течение 72 часов при температуре 50 °С. В ИК-спектре после такой длительной термообработки присутствуют полосы поглощения 3587;



**Рис. 10.** Схематичное формирование «полисахарид (пектин)-акриламид»

3322; 3184  $\text{cm}^{-1}$ , которые характерны валентным колебаниям OH-групп в гидратных структурах  $\text{H}_2\text{O}\cdots\text{H}_2\text{O}$  (с ослабленными водородными связями);  $\text{H}_2\text{O}\cdots\text{HN}$  (с акриламидными фрагментами) и  $\text{H}_2\text{O}\cdots\text{HOOC}$  (с D-полигалактурановой кислотой) соответственно [20, 21]. Максимум 1744  $\text{cm}^{-1}$  свидетельствует о колебаниях C=O в недиссоциированных –COOH-группах [11, 15, 16, 21, 22], что говорит о неполной депротонизации карбоксильных групп в пектине.

Таким образом, суперабсорбент с пектином в качестве бидеградирующего компонента способен даже при длительном высушивании удерживать часть гидратационной воды.

#### 4. Выводы

1. Синтезированы образцы суперабсорбента «Твердая вода» на базе акриламида и N,N-метилден-бис-акриламида, с добавлением пектина. Рассмотрен один из вариантов образования макропор в суперабсорбентах, объясняющий максимальное поглощение воды.

2. Изучено влияние содержания и природы сшивающего агента на набухаемость продукта. Показано, что синтезированный полимерный материал способен обратимо поглощать воду в количестве до 500 мл в расчете на один грамм продукта; набухаемость уменьшается с ростом степени сшивки. Суперабсорбент с пектином в качестве биодеградирующего компонента способен даже при длительном высушивании удерживать часть гидратационной воды.

3. Можно сделать достоверные предположения о влиянии pH среды на водопоглощающие способности и набухание суперабсорбентов «Твердая вода». Показатели степени набухания ( $\omega$ ) практически одинаковые, однако, в кислой среде значение  $\omega$  для сорбента несколько меньше по сравнению с величиной, полученной в

дистиллированной водой. Также этот полимер характеризуется наивысшими показателями по величине  $\omega$  в щелочной среде, что обусловлено электростатическим отталкиванием диссоциированных карбоксильных групп, образующихся в результате гидролиза акриламида. Это делает его пригодным для использования в выщелоченных почвах, например, черноземе Воронежской области.

4. Методом ИК-спектроскопии установлено наличие функциональных групп суперабсорбента, участвующих в образовании супрамолекулярных структур с вхождением в них связанных молекул воды. Все это в конечном счете приводит к элементам самоорганизации системы.

#### Благодарности

Результаты ИК-спектроскопического исследования получены на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием Воронежского государственного университета.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

#### Список литературы

1. Sharma J., Sukriti, Kaith B. S., Bhatti M. S. Fabrication of biodegradable superabsorbent using RSM design for controlled release of  $\text{KNO}_3$ . *Journal of Polymers and the Environment*. 2018;26(2): 518–531. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-0959-8>
2. Rojas-Oviedo I., Rodríguez-Hernández S., Cárdenas J., Rivas-Ojeda J. C., Gaviño R. Synthesis, characterization and in vitro application of pH/temperature sensitive superabsorbent hydrogel of phosphated co-polymer of methacrylic acid and methyl methacrylate ester. *Journal of Porous Materials*. 2016;23(6): 1495–1505. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0210-3>
3. Кузнецов В. А., Селеменев В. Ф., Семенов В. Н., Бакалова М. В. Способ получения гидрофильного шитого полимера со свойствами суперабсорбента. *Патент № 2574722 РФ*. Опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4.
4. Геннис Р. *Биомембраны: Молекулярная структура и функции*. Пер. с англ. М.: Мир; 1997. 624 с.
5. Лукин А. Л., Котов В. В., Мязин Н. Г. *Свекловичные пектины: от поля до конечного продукта*. Монография под ред. В. В. Котова. Воронеж: Изд-во «Истоки»; 2005. 176 с.
6. Штыков С. Н. Люминесцентный анализ в организованных средах. В кн.: *Люминесцентный анализ*. Т. 19. М.: Наука; 2015. с. 121–154.



7. Селеменев В. Ф., Рудаков О. Б., Славинская Г. В., Дроздова Н. В. *Пигменты пищевых производств (Меланоидины)*. М.: Дели Принт; 2008. 246 с.
8. Силин П.М. *Технология сахара*. М.: Пищевая промышленность; 1967. 625 с.
9. Гордон А., Форд Р. *Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография*. М.: Мир; 1967. 541 с.
10. Пиментел Д., Мак-Клеллан. Водородная связь. М.: Мир; 1964. 462 с.
11. Казицына Л. А., Куплетская Н. Б., *Применение УФ, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии*. М.: Высшая школа; 1971. 264 с.
12. Углянская В. А., Чикин Г. А., Селеменев В. Ф., Завьялова Т. А. *Инфракрасная спектроскопия ионообменных материалов*. Воронеж: ВГУ; 1989. 207 с.
13. Штокхаузен Д., Хартан Х.-Г., Брем Г., Ионас Г., Месснер Б., Пфлюгер К. Абсорбирующие жидкость полимеры и способ их получения. *Патент № 2193045 РФ*. Оpubл. 1996; МКП C08F 220/06, A61L 15/60.
14. Кузнецов В. А., Быковский Д. В., Сорокин А. В., Лавлинская М. С. Влияние строения бокового азольного заместителя на экстракционные способности сополимеров на основе N-виниламидов. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2017;17(5): 804–811. DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2017.17/442>
15. Беллами Л. *Инфракрасные спектры сложных молекул*. Пер. с англ. под ред. Ю. А. Пентина. М.: ИЛ; 1963. 592 с.
16. Наканиси К. *Инфракрасные спектры и строение органических соединений*. М.: Мир; 1975. 269 с.
17. Жданкович Е. Л., Анненкова В. З., Анненкова В. М., Ерофеева Л. Г., Владимиров В. А., Владимиров Д. В. Тройной сополимер акриловой кислоты, аммонийной соли акриловой кислоты и стирола в качестве суперабсорбента. *Патент № 2128191 РФ*. Оpubл. 1996; МКП C08F 220/06.
18. Herth G., Dannehl M., Steiner N. Water-soluble or water-swallowable polymers, particularly water-soluble or water-swallowable copolymers made of acrylamide and at least one ionic comonomer having a low residual monomer concentration. *Patent No 7973095 US*. 2006; МКП C08F 2/48; C08F 2/04; C08F 2/16; C08F 220/56
19. Кузнецов В. А., Лавлинская М. С., Останкова И. В., Селеменев В. Ф., Семенов В. Н., Лукин А. Л. Влагопоглощающая способность редкосшитого полимерного материала со свойствами суперабсорбента. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2017;17(3); 484–489. DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2017.17/404>
20. Славинская Г. В., Селеменев В. Ф. *Фульвокислоты природных вод*. Воронеж: ВГУ; 2001. 165 с.
21. Селеменев В. Ф., Рудаков О. Б., Славинская Г. В., Дроздова Н. В. *Пигменты пищевых производств (меланоидины)*. М.: Да Ли принт; 2008. 246 с.
22. Selemenev V. F. Chekin G. A., Khokhlov V. Yu. Interionic and intermolecular interactions in ion-exchange and sorption systems involving physiologically active substances. In: *Ion-exchange*. New York: Marsel Dekker; 2000(1). p. 851 – 925. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203908341.ch10>

### Информация об авторах

*Зенищева Анна Витальевна*, аспирант кафедры общей и неорганической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [anvitz@mail.ru](mailto:anvitz@mail.ru). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4227-3261>.

*Семенов Виктор Николаевич*, д. х. н., профессор, заведующий кафедрой общей и неорганической химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [semenov@chem.vsu.ru](mailto:semenov@chem.vsu.ru). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4247-5667>.

*Кузнецов Вячеслав Алексеевич*, д. х. н., профессор, кафедра высокомолекулярных соединений и коллоидной химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [dr.v.kuznetsov@gmail.com](mailto:dr.v.kuznetsov@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-0072-2025>.

*Куцев Петр Олегович*, к. х. н., преподаватель кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [peter.kushev@gmail.com](mailto:peter.kushev@gmail.com)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.