

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОГЕЛЯ НА ОСНОВЕ АКРИЛАМИДА С РАСТВОРАМИ АМИНОКИСЛОТ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Е.Р. Овсянникова, Л.Ю. Беляева, В.Ю. Хохлов, О.Н. Хохлова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Поступила в редакцию 22.11.2024 г.

Аннотация. Способность поглощать минеральные растворы объемом матрицы гидрогеля хорошо известны, однако особый интерес представляет рассмотрение связывания органических веществ с целью получения стабилизированных физиологически активных растворов. Актуальность исследования различий в поглощении веществ гидрогелем обуславливается возможностью использования полученных результатов при разработке безреагентного метода разделения электролитов различной природы.

Были изучены закономерности набухания гидрогеля на основе акриламида в растворах кислоты (HCl), основания (KOH), солей (KCl, K₂SO₄), аминокислот (глицина и фенилаланина) и их смесей при различных концентрациях неорганических электролитов (0,1 моль/дм³ и 0,01 моль/дм³) и фиксированной концентрации аминокислоты 0,01 моль/дм³. Установлено, что наибольшее влияние из исследуемых факторов на набухание оказывает концентрационный фактор и pH среды. Показано, что в растворах электролитов наблюдается уменьшение набухания гидрогеля по сравнению с чистым растворителем, в кислой среде набухание минимально. Выявлено, что введение аминокислот в исследуемые системы незначительно влияет на набухание гидрогеля. Обнаружена длительная стабильность раствора аминокислоты (глицина) в фазе набухшего гидрогеля. Установлено, что добавление электролитов к набухшему сорбенту приводит к коллапсу гидрогеля и выделению поглощенного раствора. Установлено, что при добавлении к полимеру, набухшему в растворе глицина (0,1 моль/дм³), 5 см³ насыщенных растворов солей происходит падение величины набухания на 60-70 %. При этом, в данных условиях, эффективное достижение состояния коллапса гидрогеля (падение коэффициента набухания до 92%) происходит при добавлении того же объема соляной кислоты с концентрацией 1 моль/дм³.

Полученные данные набухания гидрогеля и поглощения ими растворов веществ различной природы свидетельствуют о возможности использования их для длительного хранения поглощенных веществ без введения стабилизаторов, а также демонстрирует возможность разделения ароматических и алифатических аминокислот гидрогелем из их смесей. Реализация условий коллапса гидрогеля позволяет выделять поглощенный раствор для дальнейшего использования.

Ключевые слова: аминокислота, гидрогель, коллапс, набухание, раствор электролита

Полимерные материалы, способные поглощать воду в количествах в сотни раз превышающих их собственную массу [1, 2], все больше приобретают популярность в различных отраслях, в том числе в фармацевтической промышленности и сельском хозяйстве [3-7], а их уникальные свойства, такие как высокая стабильность и биосовместимость, позволяют использовать их в различных физиологически активных средах в биомедицинских целях [7-10]. Одним из наиболее распространенных представителей гидрогелей являются полимеры на основе акриламида [11-15].

Способность гидрогелей поглощать минеральные растворы хорошо известна. Однако важной практической характеристикой является способность полимерных гидрогелей переходить из набухшего состояния в коллапсированное (слабо набухшее) и наоборот [1-12, 16]. Актуальным является исследование закономерностей поглощения растворов сложного состава, сохранение высоких показателей удерживающей способности длительное время и возможности высвободить поглощенные растворы в неизменном виде в определенных условиях, однако этих исследований существенно меньше [17-19].

Цель данной работы — исследование набухания и коллапса гидрогеля на основе акриламида

в растворах электролитов, аминокислот и их смесей.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использован гидрогель марки “Аква-terra” (производства компании ООО «Новорос», Россия) фракции М размером гранул до 1 мм, представляющий собой нерастворимые сшитые сополимеры акриламида и акрилата калия, являющийся по своей природе слабокислотным катионообменником в калиевой форме [20].

Для изменения ионной силы раствора и предотвращения ионного обмена использовались неорганические калий-содержащие электролиты (KOH, KCl, K₂SO₄) и соляная, которая совместно с гидроксидом калия используются для существенного смещения водородного показателя в исследуемых системах. В качестве органических добавок использовались аминокислоты – простейшая глицин и ароматическая фенилаланин.

Для установления коэффициента набухания гидрогеля навеску воздушно-сухого полимера (200 мг) помещали в стеклянную емкость с 200 см³ раствора. После 24 ч содержимое фильтровали и определяли массу влажного гидрогеля. Коэффициент набухания $K_{\text{наб}}$ определяли гравиметрическим методом по формуле [21]:

$$K_{\text{наб}} = \frac{m_t - m_0}{m_0},$$

где m_t и m_0 – масса набухшего и воздушно-сухого полимера соответственно.

Гравиметрические измерения выполняли на весах с точностью ± 0.1 мг.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно, что для слабосшитых гидрогелей (1 сшивка на 100-200 звеньев) степень набухания находится в диапазоне от 200 до 1500 в зависимости от химической природы гидрогеля [1, 2]. Из физико-химии сорбционных процессов известно [22], что при контакте сорбента с растворителем, его парами или раствором первые молекулы поглощаемого растворителя формируют гидратные оболочки вокруг ионов в фазе сорбента (так называемая, “связанная вода”), а именно вокруг функциональных групп и противоионов, поэтому наличие сильно диссоциированных функциональных групп (солевая форма сорбента) и большая обменная емкость способствуют набуханию на начальной стадии. Затем происходит поглощение растворителя с формированием сетки водородных связей (“свободной воды”), чему в

гидрогелях способствует малый процент сшивки и гидрофильная природа матрицы (например, наличие хорошо гидратируемых гетероатомов азота и кислорода в составе различных групп матрицы). Равновесие достигается при равенстве упругих сил полимерных цепей, их стремлении свернуться в клубок, и осмотического давления, возникающего в фазе сорбента совместно с электростатическим отталкиванием одинаково заряженных полимерных звеньев [22]. Введение в систему дополнительного количества осмотически активных частиц, веществ (электролитов), которые изменяют соотношение “свободной” и “связанной” воды в равновесных фазах, приводит к изменению набухания. Однако для сильно набухающих сорбентов действие упругих сил полимерных цепей мало, поэтому характерно поглощение не растворителя, а раствора в целом до выравнивания концентраций осмотически активных частиц в обеих фазах [22].

На рисунке 1 представлена зависимость степени набухания гидрогеля от природы вещества, введенного в систему и концентрации электролита. В работе использовались 1-1-зарядные электролиты, такие как хлорид калия, соляная кислота, гидроксид калия, а также 1-2-зарядный сульфат калия и аминокислоты – простейшая глицин и ароматическая фенилаланин.

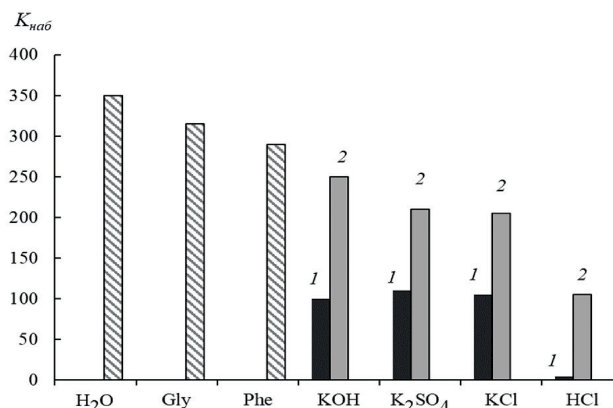


Рис. 1. Влияние природы и концентрации веществ на набухание гидрогеля с концентрациями неорганического электролита 0,1 моль/дм³ (1) и 0,01 моль/дм³ (2).

Как видно из рисунка 1, набухание гидрогеля уменьшается при использовании растворов всех электролитов обеих концентраций по сравнению с чистым растворителем. Наибольшее влияние на набухание оказывает присутствие соляной кислоты в растворе, поскольку происходит изменение

ионной формы гидрогеля в результате обмена катиона калия на ион водорода, что приводит к превращению ионизированной солевой формы $-\text{COO}^-\text{K}^+$ в слабодиссоциированную карбоксильную группу $-\text{COOH}$. Кроме того, при добавлении HCl возможно протекание кислотного гидролиза полиакриламида [23], а при высоких концентрациях – коллапс.

Влияние присутствия электролита, не приводящего к смене ионной формы гидрогеля, заключается в связывании воды в гидратные оболочки ионов в растворе и разрушении водородных связей растворителя, что препятствует вхождению его в фазу гидрогеля. Практически одинаково действует на набухание введение в систему солей KCl и K_2SO_4 . Это связано с тем, что при наличии одинакового катиона размер анионов и числа их гидратации близки [24], однако, хлорид-ион имеет отрицательную гидратацию, что сильно влияет на структуру растворителя, а сульфат калия диссоциирует с образованием большего количества ионов, поэтому совместное действие всех факторов приводит к одинаковому влиянию на набухание гидрогеля. Действие KOH выражено слабее, поскольку OH^- -ион менее гидратирован [24], однако в литературе отмечают возможный щелочной гидролиз сополимеров акриламида [23]. При увеличении концентрации растворов электролитов их индивидуальные особенности нивелируются, и основным действующим фактором является концентрационный – наблюдается одинаковое значительное уменьшение набухания до 70 %, а в присутствии соляной кислоты до 99 %.

Набухание гидрогеля в растворах глицина и фенилаланина незначительно отличается от набухания в чистом растворителе (рис. 1), поскольку эти аминокислоты находятся в растворе в виде биполярных ионов и удерживают малое количество молекул воды в составе гидратных оболочек, при этом действие глицина меньше, поскольку он имеет малые размеры и хорошо встраивается в структуру воды по сравнению с фенилаланином, имеющим объемный гидрофобный боковой радикал [25].

Введение в систему органо-минеральных смесей веществ при различном содержании компонентов позволит регулировать набухание гидрогелей, а также использовать их для создания комплексных питательных, стимулирующих и лекарственных сред длительного действия. Поэтому изучено поглощение гидрогелями растворов, содержащих 1-1-зарядный электролит и аминокислоту (глицин и фенилаланин) при соотношении компонентов 1:1 и 1:10.

Установлено, что в присутствии KCl и KOH при наибольшем набухании гидрогеля введение в систему аминокислот с различным боковым радикалом не приводит к изменению набухания (рис. 2). В присутствии KCl аминокислоты в растворе находятся в виде биполярных ионов и в соотношении 1:1 образуют органо-минеральный ассоциат [26], в растворах KOH аминокислоты находятся в виде аниона, а, следовательно, в виде соли K^+A^- , однако, в обоих случаях количество осмотически активных частиц остается неизменным, что не приводит к изменению набухания гидрогеля. В растворах HCl при $\text{pH} < 3$, при добавлении аминокислот происходит перезарядка последних в катион, поэтому количество свободных ионов водорода, приводящих к коллапсу гидрогеля в кислой среде, описанному выше, становится меньше. Кроме того, образующиеся катионы аминокислот участвуют в ионном обмене в фазе сорбента, таким образом, в системе существует трехионное равновесие $\text{K}^+/\text{H}^+/\text{AK}^+$ и образуется соответствующая смешанная ионная форма сорбента. В результате действия суммы факторов набухание гидрогеля в солянокислом аминокислот-содержащем растворе выше по сравнению с использованием чистого раствора HCl (рис. 2). Однако при превышении концентрации минеральной кислоты над концентрацией цвиттерлита (0,1:0,01 М), после полной перезарядки аминокислоты в катион, в системе сохраняются свободные ионы водорода в высокой концентрации, которые обеспечивают коллапс гидрогеля как в чистом растворе HCl . Необходимо отметить, что концентрационный фактор является определяющим при использовании любого электролита (рис. 2).

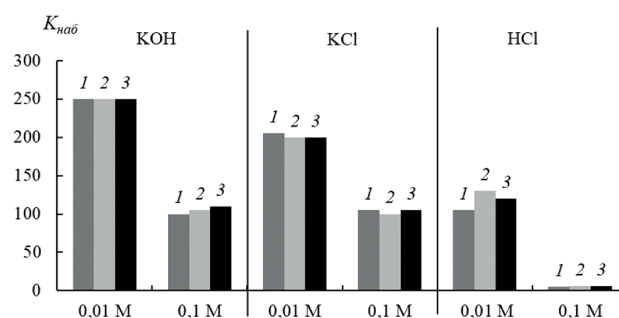


Рис. 2. Набухание гидрогеля в растворах различных электролитов: 1 – чистый неорганический электролит, 2 – с добавлением глицина (0,01 моль/дм³), 3 – с добавлением фенилаланина (0,01 моль/дм³).

Одним из основных факторов, влияющих на набухание гидрогеля, является pH. Необходимо отметить, что исходные величины кислотности раствора

электролита и установившиеся рН после набухания гидрогеля во всех рассмотренных системах незначительно отличаются в силу протекания процессов, описанных выше, но общая закономерность остается неизменной – наибольшее набухание гидрогеля наблюдается в нейтральных средах (рис. 3).

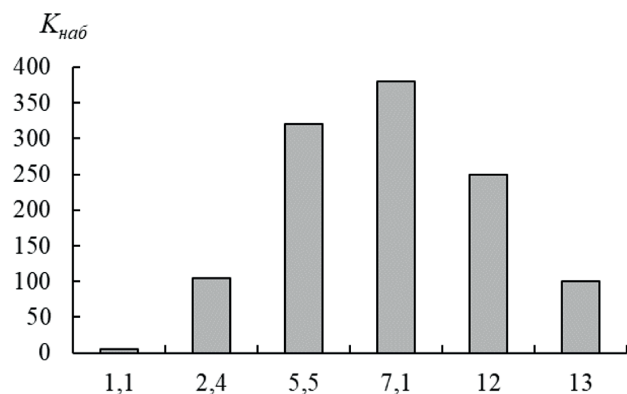


Рис. 3. Зависимость набухания гидрогеля от кислотности раствора.

Для расширения спектра применения исследуемых гидрогелей помимо управления процессом набухания необходимо знание закономерностей сохранения набухшего состояния и процесса коллапса гидрогеля и выделения поглощенных растворов в отдельную фазу.

Изучена стабильность состояния гидрогеля, набухшего в растворе аминокислот. Наблюдения проводили визуально: набухший в растворе глицина с концентрацией 0,1 моль/дм³ сорбент оставляли при комнатной температуре (293±5К) в открытом стакане на максимально длительное время. При этих условиях водный раствор аминокислоты теряет свои свойства в течении нескольких дней – происходит ассоциация биполярных ионов, окисление, деструкция, потребление микроорганизмами, появление «плесени» и другие процессы. Наблюдение за гелем, набухшим в растворе аминокислот, показывает его стабильность в течении 3,5 месяцев и только после этого наблюдается уменьшение его объема за счет испарения растворителя вплоть до полного высыхания. При этом не наблюдается изменений цвета, образования инородных включений и др. Таким образом, возможно хранение растворов аминокислот в составе геля длительное время.

С целью быстрого выделения из гидрогеля поглощенного ранее раствора вещества исследована возможность достижения эффекта коллапса сорбента. Проведено последовательное добавление неорганического электролита к гидрогелю,

набухшему в растворе глицина с концентрацией 0,1 моль/дм³. В качестве добавок использовали раствор соляной кислоты с аналогичной концентрацией и насыщенные растворы солей хлорида и сульфата калия. Результаты изменения набухания сорбента представлены на рисунке 4.

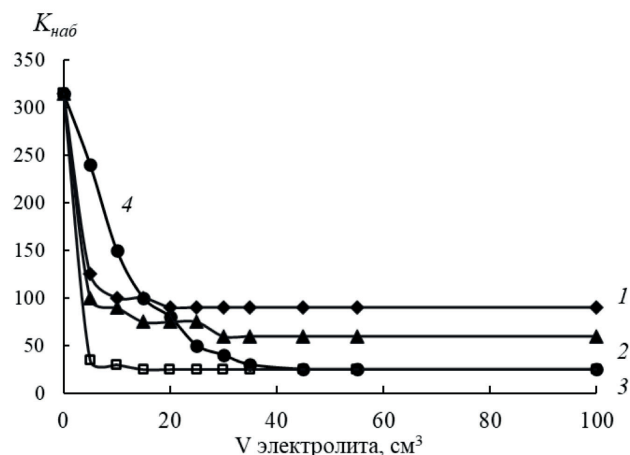


Рис. 4. Достижение коллапса гидрогеля, набухшего в растворе глицина (0,1 моль/дм³) при использовании различных электролитов: 1 – K_2SO_4 насыщ., 2 – KCl насыщ., 3 – HCl (1 моль/дм³), 4 – HCl (0,1 моль/дм³).

При добавлении первых 5 см³ насыщенных растворов солей происходит резкое падение величины набухания (на 60-70 %), при этом в отдельную фазу выделяется раствор аминокислоты. Добавление последующих объемов растворов солей приводит к незначительному уменьшению объема сорбента и выходу кривой на плато, однако эффекта полного коллапса не достигается.

Добавление раствора соляной кислоты с концентрацией 0,1 моль/дм³ объемом 25-35 см³ приводит к коллапсу гидрогеля до 92 % и выделению максимального количества раствора глицина. Для достижения эффекта коллапса при использовании минимального объема раствора кислоты, использовали HCl с концентрацией 1 моль/дм³. При этом максимальное сжатие геля происходит от первого добавленного объема электролита (5 см³) и выделяется максимально возможное количество раствора аминокислоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наибольшее набухание гидрогеля в растворах различного состава наблюдается в воде и нейтральной среде в присутствии солей (KCl и K_2SO_4), введение нейтральных аминокислот (глицина и фенилаланина) оказывает незна-

чительное влияние на процесс набухания. Наибольшее влияние на набухание гидрогеля и его коллапс с высвобождением поглощенного раствора вещества оказывает кислота (HCl) за счет изменения ионной формы сорбента с солевой на недиссоциированную и протекания гидролиза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Enas M. A. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review / M. A. Enas // *Journal of Advanced Research*. – 2015. – Vol. 6. – № 2. – P. 105-121.
- Mignon A. Superabsorbent polymers: A review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and 'smart' derivatives / A. Mignon, N.D. Belie, P. Dubruel, S.V. Vlierberghe // *Eur Polym J*. – 2019. – Vol. 117. – P. 165-178.
- Khan Faisal. Synthesis, classification and properties of hydrogels: their applications in drug delivery and agriculture / Faisal Khan, Mohd. Atif, Mohd Haseen, Shahid Kamal, Mohd Shueb Khan, Shumaila Shahid, Shahab A. A. Nami // *J. Mater. Chem. B*. – 2022. – Vol.10. – P. 170-203.
- Waseeq Ur Rehman. Hydrogel: A Promising Material in Pharmaceuticals / Waseeq Ur Rehman, Muhammad Asim, Shah Hussain, Shahid Ali Khan, Sher Bahadar Khan // *Curr Pharm Des*. – 2020. – Vol.26. – № 45. – P. 5892-5908.
- Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. – 2023. – Т. 58. – № 1. – С. 23-42.
- Краснопеева Е.Л., Панова Г.Г., Лаишевкина С.Г., Меленевская Е.Ю., Кулешова Т.Э., Удалова О.Р., Журавлева А.С., Якиманский А.В. Гидрогели как новая среда для сельскохозяйственных культур // *Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений*. – 2023. – № 11 (39). – С. 1-6.
- Дидович С. В., Крыжко А. В., Смаглий Н. В. Оценка биотоксичности полимерных гидрогелей сельскохозяйственного назначения // *Таврический вестник аграрной науки*. – 2022. – Т. 3. – №31. – С. 30-42.
- Григорьев А.М., Басок Ю.Б., Кириллова А.Д., Сургученко В.А, Шмерко Н.П, Кулакова В.К, Иванов Р.В, Лозинский В.И, Суббот А.М, Севастьянов В.И. Исследование биологических свойств криогенно-структурированного гидрогеля на основе желатина для биомедицинских технологий // *Гены и клетки*. – 2022. – Т.17. – № 3. – С. 62.
- Абилова Г.К., Махаева Д.Н., Ирмухаметова Г.С., Хуторянский В.В. Гидрогели на основе хитозана и их применение в медицине // *Вестник КазНУ. Серия химическая*. – 2020. – № 2. – С. 16-28.
- Кузнецова В.С., Васильев А.В., Григорьев Т.Е., Загоскин Ю.Д., Чвалун С.Н., Бухарова Т.Б., Гольдштейн Д.В., Кулаков А.А. Перспективы использования гидрогелей в качестве основы для отверждаемых костно-пластических материалов // *Стоматология*. – 2017. – Т. 96. – №6. – С. 68-74.
- Mahon R. Swelling performance of sodium polyacrylate and poly(acrylamide co acrylic acid) potassium salt / R. Mahon, Y. Balogun, G. Oluyemi, J. Njuguna // *SN Appl. Sci*. – 2020. – V. 2. – №117 – P. 1-15.
- Воробьева Е.В. Набухание гидрогеля на основе полиакриламида в водных растворах низкомолекулярных солей // *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. – 2020. – Т. 64. – № 3. – С. 293-299.
- Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю., Суханов П.Т., Змеев А.В. Исследование кинетики набухания гидрогелей на основе сополимеров акриламида и акрилата калия (натрия) // *Известия высших учебных заведений. Серия «химия и химическая технология»*. – 2022. – Т. 65. – Вып. 3. – С. 27-34.
- Кудрявский Д. Л. Набухание гидрогеля на основе сополимера акриламида и акрилата натрия в водных растворах хлорида меди (II) с добавками аминокислот / Д. Л. Кудрявский, Е. К. Фомина, Л. П. Круль, О. В. Якименко // *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук*. – 2020. – Т. 56. – № 3. – С. 339-351.
- Sennakesavan G. Acrylic acid/acrylamide based hydrogels and its properties / G. Sennakesavan, M. Mostakhdemin, L.K. Dkhar, A. Seyfoddin, S.J. Fatihhi // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – V. 217. – P. 123-143.
- Кижняев В. Н., Акамова Е. В., Покатилов Ф. А., Эдельштейн О. А. Влияние низкомолекулярных солей на набухание полиэлектролитных и амфифильных гидрогелей парных полимеров поли-п-винилпирролидона // *Высокомолекулярные соединения. Сер. А*. – 2022. – Т. 64. – № 3. – С. 171-178.
- Ситникова В.Е., Илич И., Гусев К.Г., Олехнович Р.О., Успенская М.В. Кинетика коллапса композитов на основе сополимера акриловой кислоты и акриламида, наполненного бентонитом в водных растворах поливалентных металлов // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2017. – Т. 17. – № 1. – С. 39-45.

18. Кожунова Е.Ю., Махаева Е.Е., Хохлов А.Р. Влияние ионогенных групп на коллапс термочувствительных гелей // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 2011. – Т.53 – №12. – С. 2050-2056.
19. Кожунова Е.Ю., Махаева Е.Е., Гринберг Н.В. Коллапс полимерных гидрогелей на основе N-изопропилакриламида и винилсульфоната натрия // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 2012. – №4. – С. 50-55.
20. ООО Новорос. Гидрогель “Акватерра” Режим доступа: <http://www.novoros-gidrogel.ru> (дата обращения: 10.11.2024)
21. Вильданова Р. Р. Набухание и деструкция гидрогелей на основе хитозана и пектина и их модификаций в водных растворах // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б – 2023 – Т. 65 – № 1 – С. 37-42.
22. Гельферих Ф. Иониты: Основы ионного обмена / Ф. Гельферих. – Москва: Изд-во Иностранной литературы, 1962. – 490 с.
23. Роговина Л.З., Шавалеева С.М., Глебов А.Н., Байбурдов Т.А., Журавлева Н.Е. Кислотно-основные и реологические свойства растворов полиакриламидов различной степени гидролиза // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1993. – Т. 35. – № 1. – С. 78-82.
24. Эрдеи-Груз Т. Явления переноса в водных растворах. / Т. Эрдеи-Груз – Москва: Мир, 1976. – 595 с.
25. Селеменев В.Ф. Физико-химические основы сорбционных и мембранных методов выделения и разделения аминокислот / В.Ф. Селеменев, В.Ю. Хохлов, О.В. Бобрешова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2001. – 300 с.
26. Хохлова О.Н., Немчинова Е.В., Нефедова Т.Н. Влияние хлорида натрия на необменную сорбцию фенилаланина и тирозина низкоосновным анионообменником АН-221 // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – Вып. 5. – С. 753-759.

Воронежский Государственный Университет
**Овсянникова Елизавета Романовна, аспирант кафедры аналитической химии*
E-mail: kashirtseva_e@mail.ru

Voronezh State University
Ovsyannikova Elizaveta R., postgraduate student, department of analytical chemistry
E-mail: kashirtseva_e@mail.ru

Хохлов Владимир Юрьевич, д.х.н., профессор кафедры аналитической химии, химический факультет
E-mail: vladkh70@mail.ru

Khokhlov Vladimir Yu., PhD., DSci., Full Professor, department of analytical chemistry
E-mail: vladkh70@mail.ru

Беляева Лиля Юрьевна, магистрант кафедры аналитической химии

Belyaeva Liya Yu., student, department of analytical chemistry

Хохлова Оксана Николаевна, к.х.н., доцент кафедры аналитической химии
E-mail: okxox@yandex.ru

Khokhlova Oksana N., PhD., Associate Professor, department of analytical chemistry
E-mail: okxox@yandex.ru

SWELLING AND COLLAPSE OF AN ACRYLAMIDE-BASED HYDROGEL IN SOLUTIONS OF INORGANIC ELECTROLYTES, AMINO ACIDS AND THEIR MIXTURES

E.R. Ovsyannikova, V.Yu. Khokhlov, L.Yu. Belyaeva, O.N. Khokhlova

Voronezh State University

Abstract. The ability to absorb mineral solutions by the volume of the hydrogel matrix is well known, but of particular interest is the consideration of the binding of organic substances in order to obtain stabilized physiologically active solutions. The relevance of studying the differences in the absorption of substances by hydrogel is due to the possibility use of the obtained results in the development of a reagent-free method for separating electrolytes of different nature.

The depends of swelling of an acrylamide-based hydrogels in solutions of acid (Cl), base (KOH), salts (KCl, K_2SO_4), amino acids (glycine and phenylalanine) and their mixtures has been studied at different concentrations of inorganic electrolytes (0,1 mol/dm³ and 0,01 mol/dm³) and a fixed amino acid concentration of 0,01 mol/dm³. The concentration factor and the pH of the medium have the main influence on swelling among the studied factors. In electrolyte solutions, in comparison with a pure solvent the swelling of the hydrogel is decreased. In an acidic medium the swelling is minimal. The introduction of amino acids into the studied systems has a slight effect on the swelling of the hydrogel. The long-term stability of the amino acid (glycine) solution in the swollen hydrogel phase has been detected. The addition of electrolytes to the swollen sorbent leads to the collapse of the hydrogel and the release of the absorbed solution. The swelling value drops by 60-70% when adding 5 cm³ of saturated salt solutions to a polymer swollen in a glycine solution (0,1 mol/dm³) has been detected. The effective achievement of hydrogel collapse (drop in swelling coefficient to 92%) occurs when adding the same volume of hydrochloric acid with a concentration of 1 mol/dm³ under these conditions.

The obtained data on the swelling of hydrogel and their absorption of solutions of substances of various natures indicate the possibility of using them for long-term storage of absorbed substances without the introduction of stabilizers. This also demonstrates the possibility of separating aromatic and aliphatic amino acids from their mixtures by the hydrogel. The implementation of the hydrogel collapse conditions allows the absorbed solution to be released for further use.

Keywords: amino acid, collapse, electrolyte solution, hydrogel, swelling

REFERENCES

1. Enas M. A. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review / M. A. Enas // *Journal of Advanced Research*. – 2015. – Vol. 6. – № 2. – P. 105-121.
2. Mignon A. Superabsorbent polymers: A review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and 'smart' derivatives / A. Mignon, N.D. Belie, P. Dubruel, S.V. Vlierberghe // *Eur Polym J*. – 2019. – Vol. 117. – P. 165-178.
3. Khan Faisal. Synthesis, classification and properties of hydrogels: their applications in drug delivery and agriculture / Faisal Khan, Mohd. Atif, Mohd Haseen, Shahid Kamal, Mohd Shoeb Khan, Shumaila Shahid, Shahab A. A. Nami // *J. Mater. Chem. B*. – 2022. – Vol.10. – P. 170-203.
4. Waseeq Ur Rehman. Hydrogel: A Promising Material in Pharmaceuticals / Waseeq Ur Rehman, Muhammad Asim, Shah Hussain, Shahid Ali Khan, Sher Bahadar Khan // *Curr Pharm Des*. – 2020. – Vol. 26. – № 45. – P. 5892-5908.
5. Maksimova Ju.G., Shhetko V.A., Maksimov A.Ju. Polimernye gidrogeli v sel'skom hozjajstve (obzor) // *Sel'skhozjajstvennaja biologija*. – 2023. – Vol. 58. – № 1. – P. 23-42.
6. Krasnopeeva E.L., Panova G.G., Laishevskina S.G., Melenevskaja E.Ju., Kuleshova T.Je., Udalova O.R., Zhuravleva A.S., Jakimanskij A.V. Gidrogeli kak novaja sreda dlja sel'skhozjajstvennyh kul'tur // *Agrohimija, agropochvovedenie, zashhita i karantin rastenij*. – 2023. – № 11 (39). – P. 1-6.
7. Didovich S. V., Kryzhko A. V., Smaglij N. V. Ocenka biotoksichnosti polimernyh gidrogelej sel'skhozjajstvennogo naznachenija // *Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki*. – 2022. – Vol. 3. – №31. – P.30-42.
8. Grigor'ev A.M., Basok Ju.B., Kirillova A.D., Surguchenko V.A., Shmerko N.P., Kulakova V.K., Ivanov R.V., Lozinskij V.I., Subbot A.M., Sevast'janov V.I. Issledovanie biologicheskikh svojstv kriogenno-strukturirovannogo gidrogelja na osnove zhelatina dlja biomedicinskih tehnologij // *Geny i kletki*. – 2022. – Vol. 17. – № 3. – P. 62.
9. Abilova G.K., Mahaeva D.N., Irmuhametova G.S., Hutorjanskij V.V. Gidrogeli na osnove hitozana i ih primenenie v medicine // *Vestnik KazNU. Serija himicheskaja*. – 2020. – № 2. – P. 16-28.
10. Kuznecova V.S., Vasil'ev A.V., Grigor'ev T.E., Zagoskin Ju.D., Chvalun S.N., Buharova T.B., Gol'dshtejn D.V., Kulakov A.A. Perspektivy ispol'zovanija gidrogelej v kachestve osnovy dlja otverzhaemyh kostno-plasticheskikh materialov // *Stomatologija*. – 2017. – Vol. 96. – №6. – P. 68-74.
11. Mahon R. Swelling performance of sodium polyacrylate and poly(acrylamide co acrylic acid) potassium salt / R. Mahon, Y. Balogun, G. Oluyemi, J. Njuguna // *SN Appl. Sci*. – 2020. – Vol. 2. – №117 – P. 1-15.
12. Vorob'jova E.V. Nabuhanie gidrogelja na osnove poliakrilamida v vodnyh rastvorah nizkomolekuljarnykh solej // *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi*. – 2020. – Vol. 64. – № 3. – P. 293-299.

13. Maslova N.V., Kochetova Zh.Ju., Suhanov P.T., Zmeev A.V. Issledovanie kinetiki nabuhaniya gidrogelej na osnove sopolimerov akrilamida i akrilata kalija (natrija) // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija «himija i himicheskaja tehnologija»*. – 2022. – Vol. 65. – № 3. – P. 27-34.
14. Kudrjavskij D. L. Nabuhanie gidrogelja na osnove sopolimera akrilamida i akrilata natrija v vodnyh rastvorah hlorida medi (II) s dobavkami aminokislot / D. L. Kudrjavskij, E. K. Fomina, L. P. Krul', O. V. Jakimenko // *Vestnik Nacional'noj akademii nauk Belarusii. Serija himicheskikh nauk* – 2020. – Vol. 56. – № 3. – P. 339-351.
15. Sennakesavan G. Acrylic acid/acrylamide based hydrogels and its properties / G. Sennakesavan, M. Mostakhdemin, L.K. Dkhar, A. Seyfoddin, S.J. Fatihhi // *Polymer Degradation and Stability*. – 2020. – Vol. 217. – P. 123-143.
16. Kizhnjaev V. N., Akamova E. V., Pokatilov F. A., Jedel'shtejn O. A. Vlijanie nizkomolekuljarnyh solej na nabuhanie polielektrolitnyh i amfifil'nyh gidrogelej parnyh polimerov poli-n-vinilpirrolidona // *Vysokomolekuljarnye soedinenija. Ser. A*. – 2022. – Vol. 64. – № 3. – P. 171-178.
17. Sitnikova V.E., Ilich I., Gusev K.G., Olehnovich R.O., Uspenskaja M.V. Kinetika kollapsa kompozitov na osnove sopolimera akrilovoj kisloty i akrilamida, napolnennogo bentonitom v vodnyh rastvorah polivalentnyh metallov // *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki*. – 2017. – Vol. 17. – № 1. – P. 39-45.
18. Kozhunova E.Ju., Mahaeva E.E., Hohlov A.R. Vlijanie ionogennyh grupp na kollaps termochuvstvitel'nyh gelej // *Vysokomolekuljarnye soedinenija. Ser. A*. – 2011. – Vol. 53 – №12. – P. 2050-2056.
19. Kozhunova E.Ju., Mahaeva E.E., Grinberg N.V. Kollaps polimernykh gidrogelej na osnove N-izopropilakrilamida i vinilsul'fonata natrija // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 3. Fizika. Astronomija*. – 2012. – №4. – P. 50-55.
20. ООО Novoros. Gidrogel' "Akvaterra" Available at: <http://www.novoros-gidrogel.ru> (дата обращения: 10.11.2024)
21. Vil'danova R. R. Nabuhanie i destrukcija gidrogelej na osnove hitozana i pektina i ih modifikacij v vodnyh rastvorah // *Vysokomolekuljarnye soedinenija. Ser. B*. – 2023 – Vol. 65 – № 1 – P. 37-42.
22. Gel'ferih F. Ionity: Osnovy ionnogo obmena / F. Gel'ferih. – Moskva: Izd-vo Inostr. lit-ry, 1962. – 490 p.
23. Rogovina L.Z., Shavaleeva S.M., Glebov A.N., Bajburdov T.A., Zhuravleva N.E. Kislotno-osnovnye i reologicheskie svojstva rastvorov poliakrilamidov razlichnoj stepeni gidroliza // *Vysokomolekuljarnye soedinenija. Ser. A*. – 1993. – Vol. 35. – № 1. – P. 78 –82.
24. Jerdei-Gruz T. Javlenija perenosy v vodnyh rastvorah. / T. Jerdei-Gruz – Moskva: Mir, 1976. – 595 p.
25. Selemenov V.F. Fiziko-himicheskie osnovy sorbcionnyh i membrannyh metodov vydelenija i razdelenija aminokislot / V.F. Selemenov, V.Ju. Hohlov, O.V. Bobreshova. – Voronezh: Izd-vo VGU, 2001. – 300 p.
26. Hohlova O.N., Nemchinova E.V., Nefedova T.N. Vlijanie hlorida natrija na neobmennuju sorbciju fenilalanina i tirozina nizkoosnovnym anionoobmennikom AN-221 // *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*. – 2010. – Vol. 10. – № 5. – P. 753 – 759.