

ELECTROCHEMICAL AND CONFORMATIONAL PROPERTIES OF POLYACRYLIC ACID AND POLY-2-METHYL-5-VINYLPYRIDINE HYDROGELS DURING THEIR REMOTE INTERACTION IN AQUEOUS ENVIRONMENT

T.K.J umadilov^{1,2}, M.T. Suleimenova^{1,2*}, J.V. Gražulevičius³

¹A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Previous research on the intergel system of polyacrylic acid (PAA) and polyethyleneimine (PEI) revealed that at a hydrogel ratio of 3:3, significant activation occurs at 24 hours. This indicates substantial changes in electrochemical and conformational properties at this ratio. *The purpose* of this research is to investigate the remote interaction between the weak polyelectrolyte polyacrylic acid (PAA) and the weak polybase poly-2-methyl-5-vinylpyridine (P2M5VP) over time and at various molar ratios in an aqueous environment. The study seeks to explore the activation potential of these hydrogels by analyzing their electrochemical properties using conductometry and pH-metry, and to determine the effect of molar ratios on the specific conductivity and swelling degree of the hydrogels. *The obtained results.* The maximum conductivity of 14.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ was achieved at a ratio of 2:4 at 2.5 hours, coinciding with the minimum pH value of 4.4. In the 6:0 ratio, where only the PAA hydrogel is present, the conductivity changes remained minimal within the range of 1-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicating the stability of this hydrogel in the absence of P2M5VP. The swelling coefficient also exhibited interesting dynamic changes depending on the time and component ratios. The swelling coefficient of PAA remained stable at 11-14 for the individual hydrogel but showed a maximum value of 41 at a ratio of 1:5 after 24 hours, indicating significant interaction between the hydrogels. The maximum swelling coefficient of P2M5VP, 7.5 and 7.6, was observed at ratios of 5:1 and 2:4, respectively, 2.5 hours into the study, suggesting optimal interaction of the hydrogels during these time intervals. *Conclusion.* The studies showed that initial differences in conductivity are minimal; however, significant changes occur over time due to intermolecular interactions between the components. The obtained results can be useful for optimizing the sorption properties of hydrogels in metal extraction processes.

Key words: swelling coefficient, remote effect, intergel system, hydrogels, specific conductivity, pH value.

Jumadilov Talkybek Kozhatayevich

Doctor of Chemical Sciences, Professor;

E-mail: jumadilov@mail.ru

Suleimenova Meruyert Turekhanovna

PhD student; E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Gražulevičius Juozas Vidas

Doctor of Chemical Sciences, Professor;

E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt

Citation: Jumadilov T.K., Suleimenova M.T., Gražulevičius J.V. Electrochemical and conformational properties of polyacrylic acid and poly-2-methyl-5-vinylpyridine hydrogels during their remote interaction in aqueous environment. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 57-65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.48>

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И КОНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИАКРИЛОВАЯ КИСЛОТА И ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ПРИ ИХ УДАЛЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2}, Ю.В. Гражулявичюс³*

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Каунасский технологический университет, Каунас, Литва

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Резюме. *Введение.* Исследованием проведенное ранее интергелевой системой полиакриловая кислота и полиэтиленмин (гПАК:гПЭИ) выявлено, что при соотношении гидрогелей 3:3, на 24 часу исследования происходит активация в максимальной степени и указывает на то, что в данном соотношении происходит значительные изменения в электрохимических и конформационных значениях. *Цель работы* – изучить дистанционное взаимодействие между слабым полиэлектролитом полиакриловой кислоты (гПАК) и слабым полиоснованием поли-2-метил-5-винилпиридином (гП2М5ВП) в зависимости от времени и их различных мольных соотношений в водной среде. Исследовать возможность активации данных гидрогелей путем анализа их электрохимических свойств с помощью методов кондуктометрии и рН-метрии, а также определить влияние мольных соотношений компонентов на удельную электропроводность и степень набухания гидрогелей. *Полученные результаты.* Максимальное значение электропроводности 14.4мкСм/см достигается при соотношении 2:4 на 2.5 часу, что совпадает с минимальным значением рН 4.4. В соотношении 6:0, где присутствует только гидрогель ПАК, изменения в электропроводности остаются минимальными в пределах 1-2мкСм/см, что свидетельствует о стабильности этого гидрогеля в отсутствие П2М5ВП. Коэффициент набухания также показывает интересные динамические изменения в зависимости от времени и соотношения компонентов. Коэффициент набухания гПАК остается стабильным при присутствии индивидуального гидрогеля в пределах 11-14, но показывает максимальное значение 41 при соотношении 1:5 через 24 часа, что свидетельствует о значительном взаимодействии между гидрогелями. Максимальный коэффициент набухания гП2М5ВП 7.5 и 7.6 наблюдается при соотношениях 5:1 и 2:4 соответственно, через 2.5 часа начала исследования, что указывает на оптимальное взаимодействие гидрогелей в эти временные промежутки. *Вывод.* Исследования показали, что на начальном этапе различия в электропроводности незначительны, однако, с течением времени, наблюдаются значительные изменения, связанные с межмолекулярным взаимодействием компонентов. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации сорбционных свойств гидрогелей в процессах извлечения металлов.

Ключевые слова: коэффициент набухания, эффект дальнего действия, интергелевая система, гидрогели, удельная электропроводность, показатель рН.

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич *Доктор химических наук, профессор*

Сулейменова Меруерт Турехановна *PhD докторант*

Гражулявичюс Юозас Видас *Доктор химических наук, профессор*

1. Введение

Гидрогели являются перспективными материалами для использования в различных целях благодаря их способности к значительному набуханию в водных средах, высокой сорбционной емкости и регулируемым физико-химическим свойствам, они способны поглощать и удерживать большое количество воды в полностью гидратированном состоянии [1-5]. Их уникальные структурные особенности позволяют удерживать воду в

количествах, достигающих тысячекратного увеличения от их сухого веса, начиная с нижнего предела в 10–20%. Эти материалы также обладают такими свойствами, как изменение объема и влияют на электропроводность и pH окружающей среды за счёт ионообмена, поглощения и высвобождения ионов [6-7].

Электропроводность является ключевым параметром, отражающим ионную проводимость среды, и может служить индикатором структурных и функциональных изменений в межмолекулярном взаимодействии полимерных цепей. pH среды играет важную роль в поведении гидрогелей. ПАК и П2М5ВП обладают кислотными и основными свойствами соответственно, что приводит к сложным взаимодействиям между ними и окружающей их средой. Некоторые из факторов, влияющих на электропроводность и набухание гидрогелей, включают pH, ионную силу, температуру и электромагнитное излучение [8-9].

Гидрогели также могут демонстрировать поведение набухания, зависящее от внешней среды [10-11]. Коэффициент набухания определяется как отношение объема набухшего гидрогеля к его сухому объему и сильно зависит от химического состава и структуры полимерной сети, а также от внешних условий, таких как температура, ионная сила и pH раствора [12]. В интергелевых системах ПАК:П2М5ВП набухание может регулироваться за счет взаимодействий между функциональными группами полимеров, что позволяет создавать материалы с заданными свойствами для конкретных применений. Высокий коэффициент набухания обеспечивает увеличение поверхности взаимодействия между гидрогелем и ионами металлов, что способствует более эффективной сорбции.

Таким образом, исследование электропроводности, pH и коэффициента набухания интергелевых систем ПАК:П2М5ВП представляет активацию двух сшитых полиэлектролитов на пути к созданию новых функциональных материалов. В данной работе рассматриваются основные механизмы, лежащие в основе этих свойств, и их взаимосвязь, что позволит углубить наше понимание поведения гидрогелей и расширить область их применения в металлургической промышленности.

2. Экспериментальная часть

Объект исследования: Гидрогели ПАК и П2М5ВП. На их основе была создана интергелевая система с различными мольными соотношениями. Исследование интергелевой системы проводилось следующим образом.

1) Каждый гидрогель, массу которого предварительно измеряли, помещали в отдельные полипропиленовые ячейки. Поры ячеек были проницаемы для низкомолекулярных ионов и молекул, но непроницаемы для дисперсии гидрогелей.

2) Полипропиленовые ячейки с гидрогелями, помещали в стаканы с дистиллированной водой, располагая их на расстоянии 2 см друг от друга.

3) Электрохимические изменения в водном растворе измерялись через различные промежутки времени. Показатели электропроводности и pH водной среды, определяли после извлечения полипропиленовых ячеек с гидрогелями из стаканов. Степень набухания гидрогелей для определения их исходных конформационных свойств рассчитывалась по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

где m_1 – масса сухого гидрогеля, m_2 – масса набухшего гидрогеля

Оборудование: Для измерения электропроводности был использован кондуктометр «МАРК 603» (Россия) и pH-метр Metrohm 827 pH-Lab (Швейцария). Массу набухших образцов гидрогелей для последующего расчета степени набухания (α) измеряли с помощью электронных аналитических весов SHIMADZU AY220 (Япония). Эксперименты проводились в дистиллированной воде, при комнатной температуре.

3. Результаты и обсуждения

На рисунке 1 показана зависимость электропроводности водной среды интерполимерной системы гПАК:гП2М5ВП от соотношения и от времени. Исследование проводилось в течении одной сутки. На протяжении первого часа исследования различия в электропроводности растворов, независимо от соотношений гидрогелей, не являются значительными. Однако, с течением времени наблюдается изменение электропроводности, причем в некоторых соотношениях появляются явные пики максимумов и минимумов. Это может указывать на сложные процессы взаимодействия между компонентами, влияющие на электропроводность. Наблюдается значительный рост электропроводности для системы на 2,5 часу исследования, что может свидетельствовать о начале образования ионных пар и улучшении ионной проводимости.

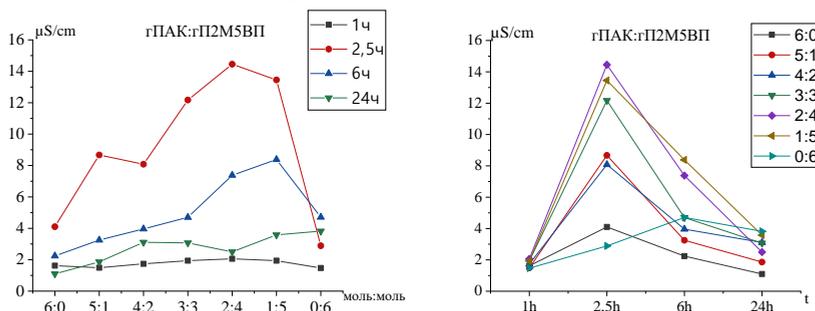


Рисунок 1 – зависимость электропроводности водной среды интерполимерной системы ПАК:П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде.

На рисунке видно, через 2.5 часов во всех соотношениях электропроводность возрастает, максимальное значение 14.4мкСм/см наблюдается при соотношении 2:4, в то время как водородный показатель водной среды соотношении 2:4 достигает минимального значения. В интерполимерной среде усиливает взаимодействие между гидрофильными группами гидрогелей и ионами в растворе, что способствует увеличению электропроводности и снижению pH среды за счет роста концентрации ионов водорода. Также замечено, что отсутствие второго гидрогеля в случаях, когда в растворе присутствует только один тип полимера, приводит к тому, что раствор не может перейти в высокоионизированное состояние, что обуславливает минимальные значения электропроводности. Также интерес представляет наблюдение, что в присутствии индивидуального гидрогеля ПАК изменения в электропроводности по сравнению с начальным и конечным моментом времени исследования не являются выраженными. Это может свидетельствовать о стабильности данного гидрогеля в водном растворе без участия гидрогеля П2М5ВП.

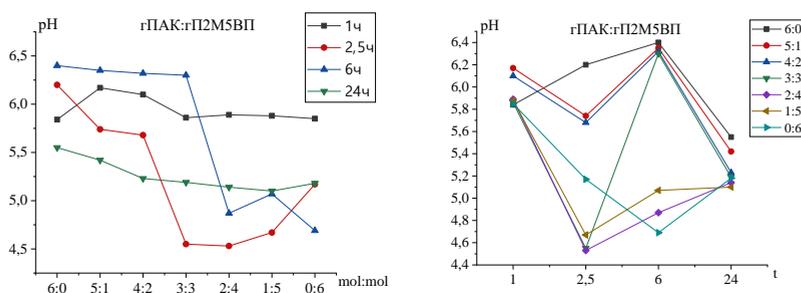


Рисунок 2 – зависимость значения pH водной среды интерполимерной системы ПАК:П2М5ВП от соотношении и от времени в водной среде

На рисунке 2 показано изменение концентрации водорода водной среды в зависимости от мольных соотношении гидрогелей и в различные временные промежутки, в присутствии интергелевой системы гПАК:гП2М5ВП. В течение первого часа pH водной среды остается относительно стабильным при различных соотношениях гидрогелей, оставаясь в пределах от 5.8 до 6,2, что указывает на низкую кислотность среды. Со временем pH среды испытывает заметные изменения. При соотношении 6:0, где присутствует индивидуальный гидрогель ПАК, значение pH остается более стабильным и в пределах нейтральной до слабощелочной даже через 24 часа. В соотношении 2:4, pH среды падает до значений около 4.5 через 2.5 часа, что представляет собой самое низкое значение pH на графике и указывает на значительное усиление кислотность среды. Значительные изменения pH могут быть результатом процессов диссоциации и ассоциации функциональных групп гидрогелей, а также

образования новых ионных пар и изменений в степени их гидратации. Интересный взгляд представляет соотношение 1:5 (где доминирует гП2М5ВП), где после изначального снижения рН через 2,5 часа происходит его повышение к 6-му часу исследования и оставаться стабильным в течении 24 часов. Эти данные могут свидетельствовать о том, что взаимодействие между гидрогелями ПАК и П2М5ВП приводит к изменению ионной активности и рН среды в зависимости от их соотношения и времени взаимодействия.

На рисунке 3 приведен график зависимости степени набухания гПАК в присутствии гидрогеля П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде. Наблюдение изменений в коэффициенте набухания гПАК в различные временные интервалы позволяет выявить интересные закономерности, которые могут быть полезны для понимания взаимодействия между гидрогелями и их способностью к абсорбции воды. При соотношении 6:0, то есть когда в растворе присутствует только гПАК, коэффициент набухания остается относительно стабильным и невысоким во всех временных промежутках. Это указывает на ограниченную способность гПАК к абсорбции воды в отсутствие гП2М5ВП. Соотношение 1:5, где преобладает гП2М5ВП, показывает максимальное значение коэффициента набухания на 24 часа измерения.

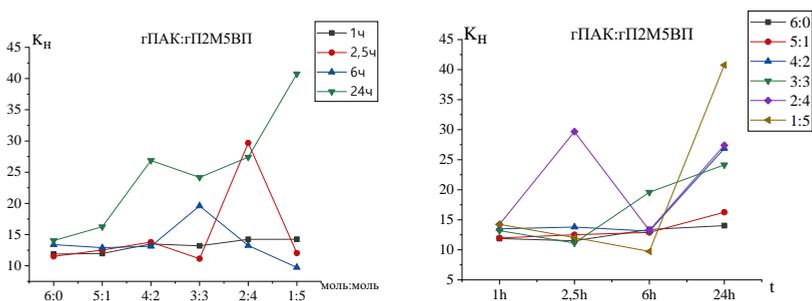


Рисунок 3 - Зависимость степени набухания гПАК в присутствии гидрогеля П2М5ВП от соотношения и от времени в водной среде

Значительные колебания коэффициента набухания наблюдаются при соотношениях 3:3 и 2:4. Это может свидетельствовать о комплексном взаимодействии между гПАК и гП2М5ВП, которое приводит к изменениям в структуре и свойствах гидрогелей, влияющих на их способность к набуханию. Самый интересный результат отмечен при соотношении 1:5 и временном интервале в 24 часа, где коэффициент набухания резко возрастает. Предполагается, что такие результаты могут быть связаны с формированием межсетчатых связей, изменением степени ионизации групп в гидрогелях и другими молекулярными процессами, происходящими при их взаимодействии в водной среде.

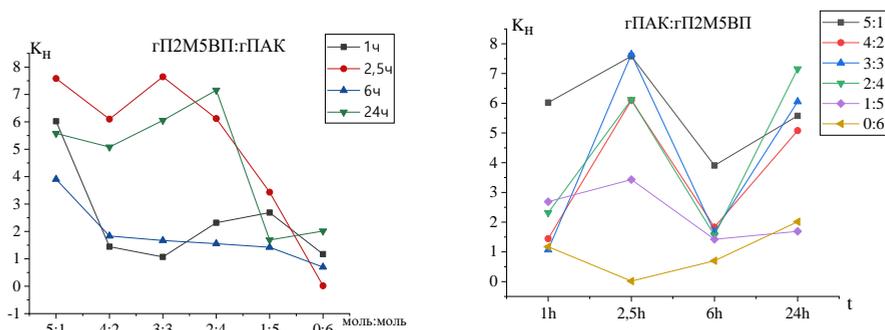


Рисунок 4 - зависимость степени набухания гП2М5ВР в присутствии гидрогеля ПАК от соотношения и от времени в водной среде

На рисунке 4 приведены изменения коэффициента набухания гидрогеля П2М5ВР в зависимости от соотношения с гидрогелем ПАК в течение различных временных интервалов. В начальные моменты эксперимента наблюдается резкое увеличение K_n для всех соотношений, за исключением 0:6, что свидетельствует о быстром начальном набухании П2М5ВР. Максимальные значения K_n достигаются на временном интервале 2.5 часа почти для всех соотношений, причем наибольшее значение наблюдается при соотношениях 5:1 и 3:3, что указывает на оптимальное взаимодействие гидрогелей. Дальнейшая динамика показывает, что на временном интервале 6 часов происходит снижение K_n для большинства соотношений, указывая на процессы перераспределения воды и временную перегруппировку полимерных цепей. Вторичное увеличение K_n на 24 часа наблюдается для всех соотношений, кроме 1:5. Соотношение 0:6 показывает наименьшую способность к набуханию, с минимальным значением K_n на 1 часе и незначительным увеличением до 2 на 24 часах, что подчеркивает важность присутствия ПАК для значительного набухания. Временная зависимость набухания подтверждает наличие различных этапов, включая начальную фазу быстрого набухания, промежуточное равновесие и долгосрочную стабилизацию.

4. Заключение

На основании проведенных исследований установлена зависимость изменения электрохимических и гидродинамических свойств гидрогелей ПАК:П2М5ВР при удаленном взаимодействии в водной среде. Соотношение гидрогелей 2:4 в ходе исследования показало максимальную электропроводность, оптимальный рН среды и высокую способность к набуханию на 2.5 часу. Исследование показало, что взаимодействие гидрогелей ПАК и П2М5ВР в водной среде значительно влияет на такие параметры, как электропроводность, рН и степень набухания. Максимальное значение электропроводности указывает на интенсивное

снижение концентрации противоионов с образованием молекулы воды. Значительное снижение рН в этом соотношении свидетельствует о росте концентрации ионов водорода.

Финансирование: Данная работа была профинансирована Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882220).

Конфликт интересов: Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ҚАШЫҚТАН ӘРЕКЕТТЕСУ БАРЫСЫНДА ПОЛИАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ ЖӘНЕ ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ГИДРОГЕЛЬДЕРІНІҢ СУ ОРТАСЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНФОРМАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗГЕРІСІН ЗЕРТТЕУ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, М.Т. Сулейменова^{1,2*}, Ю.В. Гражулявичюс³

¹«Ә.Б.Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва

*E-mail: suleimenova.te@gmail.com

Түйіндемe. *Кіріспе.* Полиакрил қышқылы және полиэтиленимин (гПАК:гПЭИ) интергельдік жүйесі бойынша жүргізілген алдыңғы зерттеулерде гидрогельдердің 3:3 қатынасында 24 сағатта максималды белсендіру байқалғаны анықталды, бұл осы қатынаста электрохимиялық және конформациялық қасиеттердің елеулі өзгерістерін көрсетеді. *Жұмыстың мақсаты* – уақыт пен гидрогельдердің әртүрлі молярлық қатынастарына байланысты әлсіз полиэлектрлит полиакрил қышқылы (гПАК) мен әлсіз полинегіз поли-2-метил-5-винилпиридин (гП2М5ВП) арасындағы қашықтан өзара әрекеттесуін зерттеу. Бұл гидрогельдерді кондуктометрия және рН-метрия әдістерімен олардың электрохимиялық қасиеттерін талдау арқылы белсендіру мүмкіндігін зерттеу, сондай-ақ компоненттердің молярлық қатынастарының гидрогельдердің меншікті электрөткізгіштігі мен ісіну дәрежесіне әсерін анықтау. *Алынған нәтижелер.* Максималды электрөткізгіштік мәні 14.4 мкСм/см 2:4 қатынасында 2.5 сағатта жетеді, бұл рН көрсеткішінің минималды мәнімен 4.4 сәйкес келеді. Тек ПАК гидрогелі бар 6:0 қатынасында электрөткізгіштіктің өзгерістері минималды деңгейде 1-2 мкСм/см шегінде қалған, бұл П2М5ВП гидрогелі болмаған жағдайда ПАК гидрогелінің тұрақтылығын көрсетеді. Ісіну коэффициенті де уақыт пен гидрогельдердің мольдік қатынасына байланысты динамикалық өзгерістерді көрсетті. Индивидуалды гидрогелдің қатысында гПАК ісіну коэффициенті 11-14 шегінде тұрақты болып қалады, бірақ 24 сағатта 1:5 қатынасында максималды мәні 41 көрсетеді, бұл гидрогельдердің арасындағы айтарлықтай өзара әрекеттесудің бар болуын болжауға мүмкіндік береді. гП2М5ВП-нің максималды ісіну коэффициенті 7.5 және 7.6 сәйкесінше 5:1 және 2:4 қатынастарында зерттеудің 2.5 сағатында байқалады, бұл осы уақыт аралықтарында гидрогельдердің оңтайлы өзара әрекеттесуін көрсетеді. *Қорытынды.* Зерттеулердің нәтижелері бойынша бастапқы кезеңде су ортасының электрөткізгіштігінде айтарлықтай айырмашылықтар байқалмады, бірақ уақыт өте келе компоненттердің молекулаларлық өзара әрекеттестігіне байланысты елеулі өзгерістер байқалады. Алынған нәтижелер гидрогельдердің сорбциялық қасиеттерін металдарды алу процестерінде оңтайландыру үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйін сөздер: ісіну коэффициенті, қашықтан әрекеттесу эффектісі, интергельді жүйе, гидрогельдер, меншікті электрөткізгіштік, рН көрсеткіші.

Джумадилов Талқыбек Қожатайұлы

Химия ғылымдарының докторы, профессор

Сулейменова Меруерт Туреханқызы

PhD докторант

Гражулявичюс Юозас Видас

Химия ғылымдарының докторы, профессор

References

1. Ahmed, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *J. Adv. Res.* **2015**, 6(2), 105-12. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
2. Enas M. Ahmed., Fatma S. Aggor., Ahmed M. Awad., Ahmed T. El-Aref. An innovative method for preparation of nanometal hydroxide superabsorbent hydrogel. *Carbohydr. Polym.*, 91(2), **2013**, 693-698. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.056>
3. Joshy, K.S., Snigdha. S., Thomas. S., Li, T. An Overview of the Recent Developments in Hydrogels. *Nano Hydrogels. Gels Horiz.* **2021**, 231-246. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13
4. Hennink WE, van Nostrum CF. Novel crosslinking methods to design hydrogels. *Adv Drug Deliv Rev.* **2002**, Jan 17;54(1):13-36. doi: [http://doi.org/10.1016/s0169-409x\(01\)00240-x](http://doi.org/10.1016/s0169-409x(01)00240-x)
5. Jose. J., Athira. V.P., Michel. H., Hafeela. A.R., Bhat. S.G., Thomas. S., Pereira. M.L. Hydrogels: An overview of the history, classification, principles, applications, and kinetics. *Sustain.Hydrogels.* **2023**, 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91753-7.00005-3>
6. Hoffman, A. S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 64, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>.
7. Sannino A., Demitri C., Madaghiele M. Biodegradable Cellulose-based Hydrogels: Design and Applications. *Materials (Basel)*, **2009**, Apr 16; 2(2): 353–73. <https://doi:10.3390/ma2020353>. PMID: PMC5445704.
8. Jumadilov. T.K., Imangazy. A.M., Khimersen. K., Haponiuk, J.T. Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. *Polym. Bull.* **2023**, DOI <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04800-x>
9. Peppas. N. A., Bures. P., Leobandung. W., Ichikawa. H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **2000**, 50(1), 27-46. [https://doi.org/10.1016/S0939-6411\(00\)00090-4](https://doi.org/10.1016/S0939-6411(00)00090-4)
10. Liu. Y., Liu. Z., Wei. Q., Wei. A., Li. J. Effects of ionic strength on the swelling behavior and drug release properties of poly(acrylic acid-co-acrylamide) hydrogel. *J. Appl. Polym. Sci.* **2013**, 128(3), 1461-1468. <https://doi.org/10.1002/app.38249>
11. Joshy. K.S., Snigdha. S., Thomas. S., Li, T. An Overview of the Recent Developments in Hydrogels. In: Jose, J., Thomas, S., Thakur, V.K. (eds) Nano Hydrogels. *Gels Horizons.* **2021**, https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13
12. Talkybek. J., Khuangul. K., Jozef. H. Influence of Initial States on the Electrochemical Behavior of Industrial Ionites in the Interpolymer System Lewatit CNPLF-AB-17-8. *Adv. Polym. Struct.: Chem. Eng. Appl.*, **2023**, 83–95. DOI <https://doi.org/10.1201/9781003352181-9>