

ЕҢБЕК ҚЫЗЫЛ ТУ ОРДЕНДІ
«Ә. Б. БЕКТҰРОВ АТЫНДАҒЫ
ХИМИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ ИНСТИТУТЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ХИМИЯ ЖУРНАЛЫ

ХИМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА

CHEMICAL JOURNAL of KAZAKHSTAN

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
«ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК
им. А. Б. БЕКТУРОВА»

1 (65)

ЯНВАРЬ – МАРТ 2019 г.
ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2003 ГОДА
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

АЛМАТЫ
2019

Т. К. ДЖУМАДИЛОВ, Р. Г. КОНДАУРОВ, А. М. ИМАНҒАЗЫ

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

СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИКИСЛОТ И ПОЛИОСНОВАНИЙ, А ТАКЖЕ ИНТЕРГЕЛЕВЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ НЕОДИМА

Аннотация. Исследовано сорбционное извлечение ионов неодима как индивидуальными полимерными гидрогелями полиакриловой кислоты (ПАК), полиметакриловой кислоты (ПМАК), поли-4-винилпиридина (П4ВП) и поли-2-метил-5-винилпиридина (П2М5ВП), так и составленными на их основе интергелевыми системами: гПАК-гП4ВП; гПАК-гП2М5ВП; гПМАК-гП4ВП; гПМАК-гП2М5ВП.

Установлено, что степень сорбции ионов Nd индивидуальными полимерными гидрогелями гПАК, гПМАК, гП4ВП, гП2М5ВП достигает максимальных значений по истечении 48 ч взаимодействия и составляет 61,6; 59,9; 54,6; 51,5%, соответственно. Невысокая ионизация индивидуальных гидрогелей приводит к тому, что сорбция ионов неодима не превышает 62%.

В интергелевой системе гПАК-гП4ВП наибольшая сорбция ионов неодима наблюдается при соотношениях гидрогелей 83%гПАК-17%гП4ВП и 50%гПАК-50%гП4ВП и равна 74,3 и 72,5% соответственно.

В интергелевой системе гПАК-гП2М5ВП максимальное значение степени сорбции 91,9% наблюдаются при 48 ч взаимодействия и соотношении гидрогелей 50%гПАК-50%гП2М5ВП.

В другой интергелевой системе гПМАК-гП4ВП наибольшее количество неодима (92,4%) извлекается при соотношении гидрогелей 67%гПМАК-33%гП4ВП по истечению 48 ч дистанционного взаимодействия.

В интергелевой системе гПМАК-гП2М5ВП максимальное значение степени извлечения ионов неодима составляет 90,7% по истечении 48 ч дистанционного взаимодействия и соотношении гидрогелей 33%гПМАК-67%гП2М5ВП.

Существенный рост степени сорбции ионов неодима интергелевыми системами по сравнению с индивидуальными гидрогелями, на наш взгляд, связан с высокой степенью ионизации гидрогелей в интергелевой паре.

Ключевые слова: гидрогели, интергелевые системы, сорбция, ионы, неодим.

Неодим - редкоземельный металл серебристо-белого цвета с золотистым оттенком. Демонстрируя, в основном, те же характеристики, что и другие элементы группы лантаноидов, неодим широко применяется в изготовлении лазеров, окраски стекла (тонирование), а также в качестве диэлектрика. Часто используется как компонент сплавов с алюминием и магнием в самолето- и ракетостроении. Магниты, изготавливаемые из сплавов на основе редкоземельных металлов химического состава $Nd_2Fe_{14}B$, обладают высокими магнитными свойствами [1].

Инновационность проводимых нами исследований заключается в создании технологии селективного разделения и сорбции ионов редкоземельных

элементов и сопутствующих металлов путем создания интергелевых систем, обладающих существенно большими сорбционными свойствами (по сравнению с существующими аналогами) и селективностью по отношению к сорбированному иону неодима.

Возникновение селективности у функциональных полимеров обусловлено сродством гетероатома к ионам металлов и гибкостью полимерной цепи, позволяющей нескольким лигандам одновременно взаимодействовать с комплексообразователем [2,3]. Гетероатомы в гибких цепях могут образовывать спирали или спиралеподобные структуры. К таким конформационным превращениям особенно склонны цепи с объемными боковыми заместителями. В случае соответствия размеров пор спиралей или подобных структур размеру иона наблюдается максимальное связывание иона металла с полимером. Гидратная оболочка ионов металлов полностью или частично заменяется на гетероатомы звеньев гидрогеля [3-9].

Большинство гидрогелей относится к полиэлектролитам [10]. На конформационное поведение полиэлектролитов большое влияние оказывает степень ионизации макромолекулярных клубков [11-14].

Интергелевые системы – многокомпонентные системы, состоящие из двух и более гидро- или органогелей и общего растворителя.

Особенность процесса ионизации в интергелевых системах заключается в отсутствие противоиона у ионизованных групп. Это является следствием интергелевых взаимодействий, результатом которых является взаимная активация гидрогелей и образование некомпенсированных зарядов вдоль полимерной цепи. Некомпенсированный заряд образуется в результате отрыва протона от карбоксильной группы при диссоциации кислотного гидрогеля и соединения этого иона с гетероатомом основного гидрогеля в водной среде. При этом плотность заряда у основных гидрогелей лимитируется степенью диссоциации кислотного гидрогеля. Вследствие этого поликислота подвергается ионизации с последующей диссоциацией карбоксильной группы, далее происходит ассоциация протонов гетероатомом полиоснования, в результате чего оба гидрогеля имеют одноименно заряженные группы на звеньях межузловых цепей без противоионов. Результатом является повышенная сорбционная способность по сравнению с индивидуальными гидрогелями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Оборудование. Для измерения удельной электропроводности и pH при очистке образцов были использованы кондуктометр МАРК 603 (Россия) и pH-метр Metrohm 827 pH-Lab (Швейцария). Массу набухших образцов гидрогелей для последующего расчета степени набухания (α) определяли взвешиванием на электронных аналитических весах SHIMADZUAY220 (Япония). Определение оптической плотности растворов нитрата неодима для последующего расчета концентрации ионов неодима проводили на

спектрофотометре Jenway-6305 (СК) и на атомно-абсорбционном спектрометре iCE 3400 (США). Определение концентрации ионов неодима проводили на атомно-абсорбционном спектрометре iCE 3400 (США) и на атомно-эмиссионном спектрометре ARCOS Simultaneous ICP Spectrometer (ICP-AES) (Германия).

Эксперимент. Эксперименты были проведены при комнатной температуре следующим образом:

Степень набухания гидрогелей при определении их исходных конформационных свойств была рассчитана по формуле:

$$\alpha = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (1)$$

где m_1 – вес сухого гидрогеля, m_2 – вес набухшего гидрогеля.

Изучение сорбционных свойств индивидуальных полимерных гидрогелей проводилось следующим образом:

1) Расчетное количество каждого гидрогеля (полиакриловой кислоты, полиметакриловой кислоты, поли-4-винилпиридина, поли-2-метил-5-винилпиридина) в сухом виде помещалось в стеклянный стакан.

2) Сорбция ионов Nd индивидуальными гидрогелями ПАК, ПМАК, П4ВП, П2М5ВП проводилась на протяжении 2 сут. В течение этого времени отбирались аликвоты для последующего определения концентрации данных ионов.

Изучение сорбционных свойств интергелевых систем проводилось следующим образом:

1) Из синтезированных гидрогелей были составлены следующие интергелевые системы: гПАК-гП4ВП; гПАК-гП2М5ВП; гПМАК-гП4ВП; гПМАК-гП2М5ВП.

2) Расчетное количество каждого гидрогеля в сухом виде помещалось в специальный стеклянный фильтр, поры которого проницаемы для низкомолекулярных ионов, но не проницаемы для дисперсии гидрогелей.

3) Сорбция ионов Nd данными интергелевыми системами проводилась на протяжении 2 сут, отбирались аликвоты для последующего определения концентрации вышеуказанных ионов.

Методика определения ионов неодима. Методика определения ионов неодима в растворе основана на образовании окрашенного комплексного соединения органического аналитического реагента арсеназо III с ионами редкоземельных металлов (РЗМ)[16-18].

Степень извлечения (сорбции) была рассчитана по формуле:

$$\eta = \frac{C_{нач} - C_{ост}}{C_{нач}} * 100\% , \quad (2)$$

где $C_{нач}$ – начальная концентрация металла в растворе, г/л; $C_{ост}$ – остаточная концентрация металла в растворе, г/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рисунок 1 представляет собой зависимость степеней извлечения ионов неодима гидрогелей ПАК, ПМАК, П4ВП, П2М5ВП от времени. Как видно из рисунка, со временем происходит увеличение степени сорбции ионов неодима у данных гидрогелей. Основное количество ионов Nd (37,8; 31,2; 28,3; 23,6% соответственно для гПАК, гПМАК, гП4ВП, гП2М5ВП) сорбируется макромолекулами на протяжении 6 ч взаимодействия с раствором соли. Как видно из полученных результатов, по истечении этого времени степень извлечения ионов неодима у вышеуказанных полимерных гидрогелей увеличивается не столь интенсивно. Причиной этого является то, что диссоциация карбоксильных групп со временем уменьшается.

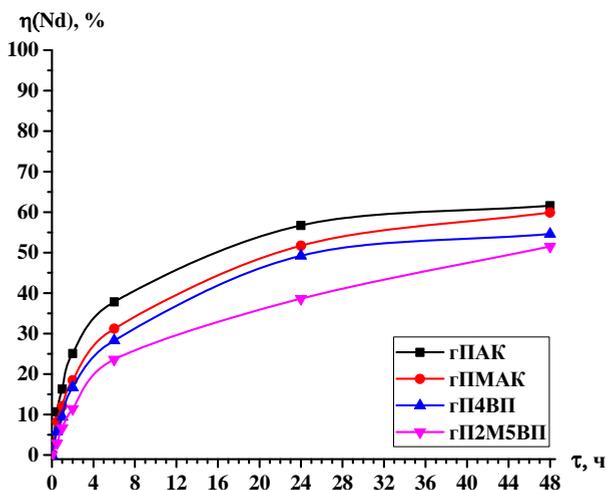


Рисунок 1 – Зависимость степеней извлечения ионов неодима гидрогелями ПАК, ПМАК, П4ВП, П2М5ВП от времени

Дальнейшее взаимодействие макромолекул с солью РЗМ по истечении 48 ч приводит к достижению максимальных значений степени сорбции (61,6; 59,9; 54,6; 51,5% соответственно для гПАК, гПМАК, гП4ВП, гП2М5ВП).

Значения степени извлечения ионов неодима гидрогелями ПАК, ПМАК, П4ВП, П2М5ВП представлены в таблице 1. Разница в значениях степени сорбции полимеров связана с разной скоростью ионизации исходных макромолекул. Ионизация затрудняется в случае, если в структуре полимера присутствует объемный заместитель (например метиловый). Из таблицы 1 видно, что после 24 ч степень извлечения ионов неодима возрастает незначительно, что указывает на приближение к состоянию равновесия.

На рисунке 2 представлена зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП4ВП во времени. Как видно из рисунка 2, при дистанционном взаимодействии гидрогелей ПАК и П4ВП появляются

Таблица 1 – Степень извлечения ионов неодама гидрогелями
ПАК, ПМАК, П4ВП, П2М5ВП

τ , ч	$\eta(\text{Nd})$, %			
	ПАК	ПМАК	П4ВП	П2М5ВП
0	0	0	0	0
0,5	10,7	8,3	5,8	2,9
1	16,3	12,1	9,4	6,7
2	25,1	18,5	16,7	11,4
6	37,8	31,2	28,3	23,6
24	56,7	51,7	49,2	38,6
48	61,6	59,9	54,6	51,5

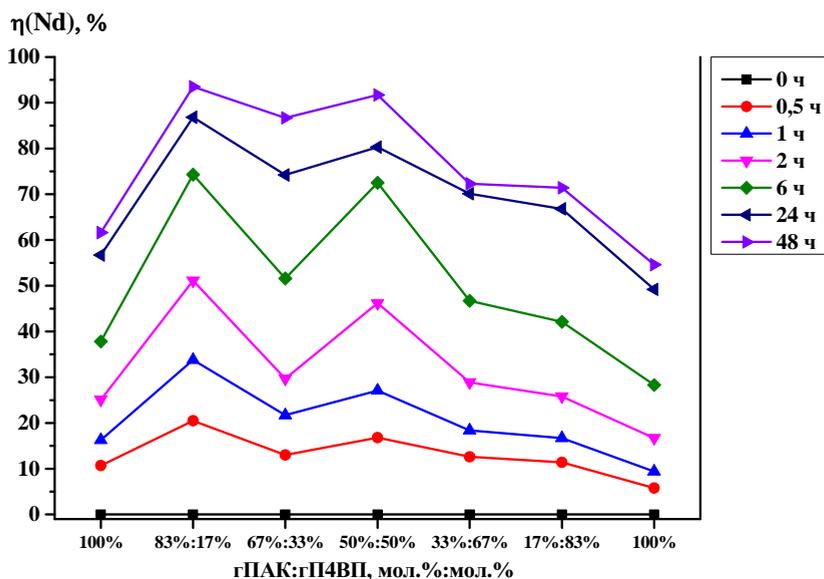


Рисунок 2 – Зависимость степени извлечения ионов неодама от соотношений гПАК:гП4ВП во времени

области максимальной и минимальной сорбции. Наименьшие значения степени сорбции отмечаются в присутствии индивидуальных гидрогелей ПАК и П4ВП, параметр не превышает 70%. Наибольшая сорбция неодама наблюдается при соотношениях 83%гПАК-17%гП4ВП и 50%гПАК-50%гП4ВП, особенно отчетливо это видно при 6 часах дистанционного взаимодействия, параметр при этом равен 74,3 и 72,5% соответственно. Максимальные значения степени сорбции в данной интергелевой системе наблюдаются при этих же соотношениях при 48 ч, степень сорбции составляет 93,5 и 91,7% соответственно.

В таблице 2 представлены значения степени извлечения ионов неодима интергелевой системой гПАК-гП4ВП. Видно, что в интергелевых парах гПАК-гП4ВП намного выше степень сорбции по сравнению с индивидуальными гидрогелями. Это происходит за счет высокой степени ионизации исходных полимеров в интергелевой системе при их дистанционном взаимодействии в результате взаимной активации. Наибольшая ионизация гПАК и гП4ВП происходит при соотношении 83%гПАК-17%гП4ВП, в результате чего степень извлечения ионов неодима достигает максимальных значений (93,5%).

Таблица 2 – Степень извлечения ионов Nd интергелевой системой гПАК-гП4ВП

τ, ч	η(Nd), %						
	гПАК:гП4ВП, мол. %:мол. %						
	100%	83%:17%	67%:33%	50%:50%	33%:67%	17%:83%	100%
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	10,7	20,5	13,0	16,8	12,6	11,4	5,8
1	16,3	33,8	21,7	27,1	18,4	16,7	9,4
2	25,1	51,1	29,7	46,2	28,9	25,8	16,7
6	37,8	74,3	51,6	72,5	46,7	42,1	28,3
24	56,7	86,8	74,2	80,3	70,1	66,8	49,2
48	61,6	93,5	86,7	91,7	72,3	71,4	54,6

Рисунок 3 представляет собой зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП4ВП во времени.

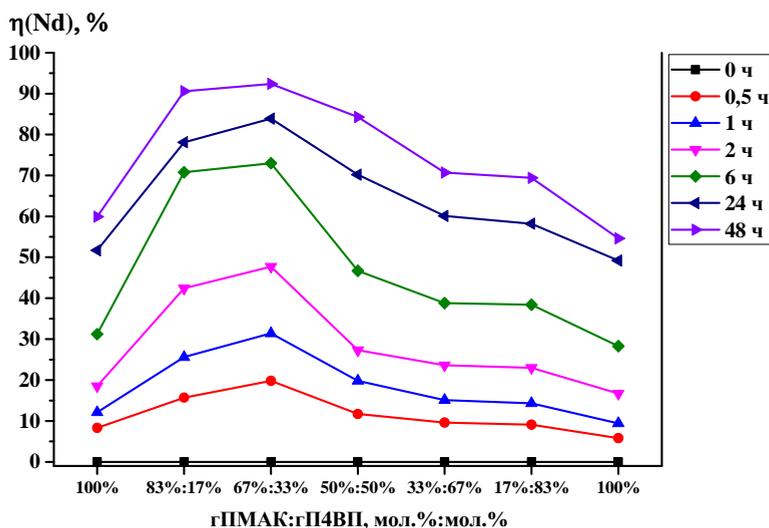


Рисунок 3 – Зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП4ВП во времени

Как видно из полученных данных, большая часть неодима извлекается в течение 6 ч. При этом наибольшая сорбция происходит при соотношениях 83%гПМАК-17%гП4ВП и 67%гПМАК-33%гП4ВП, извлекается 70,8 и 73,0% неодима соответственно. Наибольшее количество (92,4%) неодима извлекается при соотношении 67%гПМАК-33%гП4ВП при 48 ч.

Сравнение степеней извлечения ионов неодима индивидуальных гидрогелей ПМАК и П4ВП и интергелевой системы представлено в таблице 3. Невысокая ионизация индивидуальных гидрогелей ПМАК и П4ВП приводит к тому, что они сорбируют не более 60% неодима. Интергелевые пары сорбируют от 70 до 92%. Наибольшая ионизация макромолекул при соотношении 67%гПМАК-33%гП4ВП приводит к тому, что значения степени сорбции достигают максимальных значений на протяжении всего времени дистанционного взаимодействия.

Таблица 3 – Степень извлечения ионов Nd интергелевой системой гПМАК-гП4ВП

τ, ч	η(Nd), %						
	гПМАК:гП4ВП, мол. %:мол. %						
	100%	83%:17%	67%:33%	50%:50%	33%:67%	17%:83%	100%
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	8,3	15,7	19,8	11,7	9,6	9,1	5,8
1	12,1	25,6	31,4	19,8	15,1	14,3	9,4
2	18,5	42,4	47,7	27,3	23,6	23,0	16,7
6	31,2	70,8	73,0	46,7	38,8	38,4	28,3
24	51,7	78,1	83,9	70,2	60,1	58,2	49,2
48	59,9	90,6	92,4	84,3	70,7	69,4	54,6

Зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП2М5ВП во времени представлена на рисунке 4.

Интенсивная сорбция происходит при 83%гПАК-17%гП2М5ВП, 50%гПАК-50%гП2М5ВП и 17%гПАК-83%гП2М5ВП. Необходимо отметить, что при последних двух соотношениях это особо заметно при 6 часах дистанционного взаимодействия, при это извлекается 71,5 и 67,5% неодима соответственно. Максимальные значения степени сорбции (91,9%) в данной интергелевой системе отмечаются при 48 ч при соотношении 50%гПАК-50%гП2М5ВП.

Таблица 4 представляет собой сравнительную характеристику степени сорбции ионов неодима интергелевой системой гПАК-гП2М5ВП. Как было указано выше, областями высокой сорбции неодима являются соотношения 83%гПАК-17%гП2М5ВП, 50%гПАК-50%гП2М5ВП и 17%гПАК-83%гП2М5ВП, при них сорбируется на 20% больше неодима, чем в случае с индивидуальными гидрогелями полиакриловой кислоты и поли-2-метил-5-винилпиридина. Такой прирост степени извлечения напрямую связан с переходом исходных полимеров в высокоионизованное состояние.

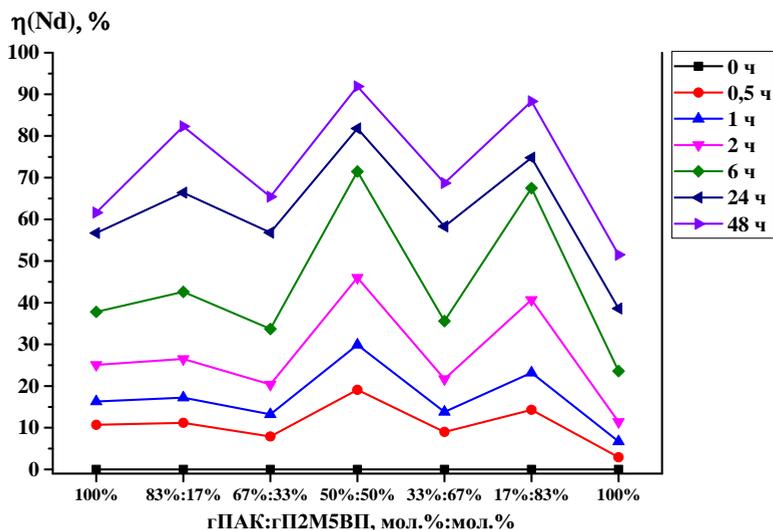


Рисунок 4 – Зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП2М5ВП во времени

Таблица 4 – Степень извлечения ионов Nd интергелевой системой гПАК-гП2М5ВП

τ, ч	η(Nd), %						
	гПАК:гП2М5ВП, мол.%:мол.%						
	100%	83%:17%	67%:33%	50%:50%	33%:67%	17%:83%	100%
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	10,7	11,2	7,9	19,1	9,0	14,3	2,9
1	16,3	17,2	13,2	29,9	13,8	23,2	6,7
2	25,1	26,5	20,4	46,0	21,7	40,7	11,4
6	37,8	42,6	33,7	71,5	35,6	67,5	23,6
24	56,7	66,4	56,8	81,8	58,3	74,8	38,6
48	61,6	82,3	65,4	91,9	68,7	88,3	51,5

На рисунке 5 представлена зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПАК:гП2М5ВП во времени. Высокая степень ионизации редкоземельных полимерных гидрогелей полиметакриловой кислоты и поли-2-метил-5-винилпиридина приводит к существенному росту степени сорбции при соотношениях 50%гПАК-50%гП2М5ВП, 33%гПАК-67%гП2М5ВП и 17%гПАК-83%гП2М5ВП. Как видно из данного рисунка, наибольший рост сорбции наблюдается при первых двух соотношениях при 6 ч, при этом интергелевыми парами извлекается 63,2 и 68,7% неодима. Максимальные значения степени извлечения ионов неодима (90,7%) в интергелевой системе наблюдаются при соотношении 33%гПАК-67%гП2М5ВП при 48 ч дистанционного взаимодействия полимерных гидрогелей ПМАК и П2М5ВП.

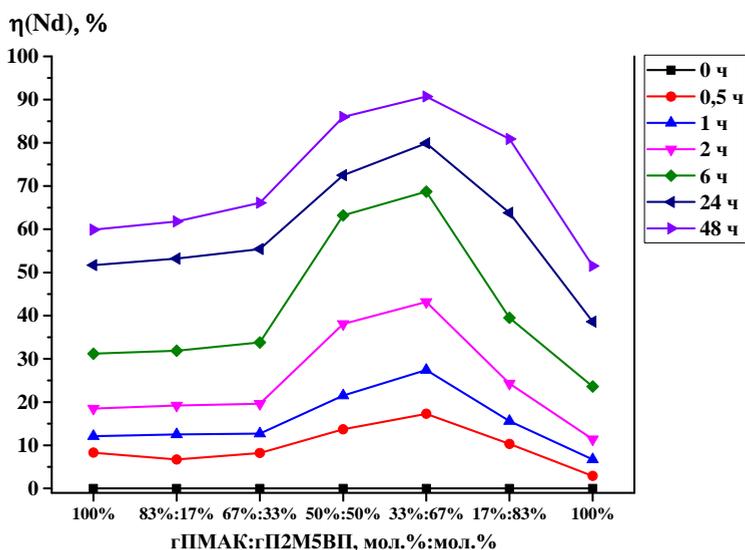


Рисунок 5 – Зависимость степени извлечения ионов неодима от соотношений гПМАК:гП2М5ВП во времени

В таблице 5 приведены значения степени извлечения ионов Nd интергелевой системой гПМАК-гП2М5ВП.

Таблица 5 – Степень извлечения ионов Nd интергелевой системой гПМАК-гП2М5ВП

τ, ч	η(Nd), %						
	гПМАК:гП2М5ВП, мол.%:мол.%						
	100%	83%:17%	67%:33%	50%:50%	33%:67%	17%:83%	100%
0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	8,3	6,7	8,2	13,7	17,3	10,3	2,9
1	12,1	12,5	12,7	21,5	27,4	15,6	6,7
2	18,5	19,2	19,6	38,1	43,2	24,3	11,4
6	31,2	31,9	33,8	63,2	68,7	39,5	23,6
24	51,7	53,2	55,4	72,5	79,9	63,8	38,6
48	59,9	61,8	66,1	86,0	90,7	80,9	51,5

Существенный рост (более чем на 30%) степени сорбции ионов неодима при соотношении гидрогелей 33%гПМАК-67%гП2М5ВП по сравнению с индивидуальными гидрогелями ПМАК и П2М5ВП в первую очередь связан с высокой степенью ионизации гидрогелей в данной интергелевой паре. Также высокие значения степени извлечения ионов неодима наблюдаются при соотношениях гидрогелей 50%гПМАК-50%гП2М5ВП и 17%гПМАК-83%гП2М5ВП.

Заключение. Максимальные значения степеней сорбции ионов неодима индивидуальными гидрогелями гПАК, гПМАК, гП4ВП, гП2М5ВП составили 61,6; 59,9; 54,6; 51,5%, соответственно, по истечении 48 ч взаимодействия. Невысокая ионизация индивидуальных гидрогелей привела к тому, что сорбция ионов неодима не превысило 62%.

Степень сорбции ионов неодима более 90% получена в интергелевых системах гПАК-гП2М5ВП, гПМАК-гП4ВП и гПМАК-гП2М5ВП при различных соотношениях, составляющих систему гидрогелей.

Существенный рост степени сорбции ионов неодима интергелевыми системами по сравнению с индивидуальными гидрогелями связан с высокой степенью ионизации гидрогелей в интергелевой паре.

Полученные результаты указывают на возможность создания высоко-селективных полимерных интергелевых систем для высокоэффективной сорбционной технологии извлечения ионов неодима из промышленных растворов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по проектам AP05131302 и AP05131451 в рамках грантового финансирования научных исследований на 2018-2020 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Неодим // Большой Энциклопедический словарь. – 2000.
- [2] Morita M., Shirai T., Egashira M., Yoshimoto N. Conductance behavior of polymeric ion-gel containing magnesium salt // *Electrochemistry*. – 2005. – Vol. 73, N 8. – P. 579-581.
- [3] Patrick Brian O., Stevens Cecilia L., Storr Alan, Thompson Robert C. Coordination polymers incorporating copper (II) and manganese (II) centers bridged by pyridinedicarboxylate ligands: structure and magnetism // *Polyhedron: International Journal for Inorganic and Organometallic Chemistry*. – 2005. – Vol. 24, N 16-17. – P. 2242-2249.
- [4] Tokuyama Hideaki, Kanehara Akifumi. Temperature swing adsorption of gold (III) ions on poly(N-isopropylacrylamide) gel // *React. and Funct. Polym.* – 2007. – Vol. 67, N 2. – P. 136-143.
- [5] WasikiewiczJaroslaw M., Mitomo Hiroshi, Seko Noriaki, Tamada Masao, Yoshii Fumio. Platinum and palladium ions adsorption at the trace amounts by radiation crosslinked carboxymethylchitin and carboxymethylchitosan hydrogels // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2007. – Vol. 104, N 6. – P. 4015-4023.
- [6] Bari Fazlul, Begum Noorzahan, Baharin Jamaludin Samsul, Hussin Kamarudin. Extraction and separation of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) by sol-gel silica immobilized with Cyanex 272 // *Hydrometallurgy*. – 2009. – Vol. 96, N 1-2. – P. 140-147.
- [7] Блохин А.А., Мальцева Е.Е., Мурашкин Ю.В., Михайленко М.А. Сорбция рения и молибдена на гелевых и макропористом слабоосновных анионитах из сернокислых растворов // *Материалы 13 Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых*. – М., 2009. – С. 169.
- [8] Чопабаева Н.Н. Изучение сорбционных свойств новых азотсодержащих ионитов на основе древесины по отношению к ионам золота(III) // *Ж. прикл. химии*. – 2009. – № 82. – С. 556-562.
- [9] Zheng Yian, Hua Shuibo, Wang Aiqin. Adsorption behavior of Cu²⁺ from aqueous solutions onto starch-g-poly(acrylic acid)/sodium humate hydrogels // *Desalination: International Journal of the Science and Technology of Water Desalting*. – 2010. – Vol. 263, N 1-3. – P. 170-175.

[10] Takada Kazutake, Shibata Atsushi, Yuchi Akio Control of Ag⁺ permeation by Na⁺ concentration on the basis of volume change in poly(acrylic acid) gel // *Chem. Lett.* – 2010. – Vol. 39, N 9. – P. 970-971.

[11] Horkay Ferenc, Basser Peter J., Hecht Anne-Marie, Geissler Erik Structural investigations of a neutralized polyelectrolyte gel and an associating neutral hydrogel // *Polymer: The International Journal for the Science and Technology of Polymers (including Polymer Communications)*. – 2005. – Vol. 46, N 12. – P. 4242-4247.

[12] Кондрашова Ю.Г., Сафронов А.П. Перманентное набухание гидрогелей полиакриловой и полиметакриловой кислот // Тезисы докладов 16 Российской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения профессора В. П. Кочергина. – Екатеринбург, 2006. – С. 232-233.

[13] Kim Seon Jeong, Yoon Seoung Gil, Kim Sun I. Effect of the water state on the electrical bending behavior of chitosan/poly(diallyldimethylammonium chloride) hydrogels in NaCl solutions // *J. Polym. Sci. B.* – 2004. – Vol. 42, N 5. – P. 914-921.

[14] Chen Li, Yu Xiao, Li Qingya Reswelling behavior of polycation hydrogels carrying charges on the chain backbone by two-step surfactant bindings // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2006. – Vol. 102, N 4. – P. 3791-3794.

[15] Sitnikova N.L., Malyshkina I.A., Gavrilova N.D., Philippova O.E. Role of the nature of counterions on the swelling behavior and dielectric properties of poly(methacrylic acid) gels in methanol // *Proceedings of 4 International Symposium Molecular Order and Mobility in Polymer Systems.* – St. Petersburg, 2002. – P. 229.

[16] Jumadilov T.K., Abilov Zh.A., Kaldayeva S.S., Himersen H., Kondaurov R.G. Ionic equilibrium and conformational state in intergel system based on polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels // *Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research.* – 2014. – Vol. 1. – P. 253-261.

[17] Jumadilov T.K., Kondaurov R.G., Khakimzhanov S.A., Himersen H., Yeskaliyeva G.K. Influence of initial state of hydrogels on self-organization of polymer networks of polymethacrylic acid and poly-4-vinylpyridine at their remote interaction in an aqueous medium // *Chemical Journal of Kazakhstan.* – 2018. – N 1. – P. 42-48.

[18] Jumadilov T.K., Kondaurov R.G., Abilov Zh.A., Grazulevicius J.V., Akimov A.A. Influence of polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels mutual activation in intergel system on their sorption properties in relation to lanthanum (III) ions // *Polymer Bulletin.* – 2017. – Vol. 74. – P. 4701-4713. – DOI 10.1007/s00289-017-1985-3.

REFERENCES

- [1] Neodim // *Bol'shoj Jenciklopedicheskij slovar'*. 2000.
- [2] Morita M., Shirai T., Egashira M., Yoshimoto N. Conductance behavior of polymeric ion-gel containing magnesium salt // *Electrochemistry*. 2005. Vol. 73, N 8. P. 579-581.
- [3] Patrick Brian O., Stevens Cecilia L., Storr Alan, Thompson Robert C. Coordination polymers incorporating copper (II) and manganese (II) centers bridged by pyridinedicarboxylate ligands: structure and magnetism // *Polyhedron: International Journal for Inorganic and Organometallic Chemistry*. 2005. Vol. 24, N 16-17. P. 2242-2249.
- [4] Tokuyama Hideaki, Kanehara Akifumi. Temperature swing adsorption of gold (III) ions on poly(N-isopropylacrylamide) gel // *React. and Funct. Polym.* 2007. Vol. 67, N 2. P. 136-143.
- [5] Wasikiewicz Jaroslaw M., Mitomo Hiroshi, Seko Noriaki, Tamada Masao, Yoshii Fumio. Platinum and palladium ions adsorption at the trace amounts by radiation crosslinked carboxymethylchitin and carboxymethylchitosan hydrogels // *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. Vol. 104, N 6. P. 4015-4023.
- [6] Bari Fazlul, Begum Noorzahan, Baharin Jamaludin Samsul, Hussin Kamarudin. Extraction and separation of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) by sol-gel silica immobilized with Cyanex 272 // *Hydrometallurgy*. 2009. Vol. 96, N 1-2. P. 140-147.

- [7] Blohin A.A., Mal'ceva E.E., Murashkin Ju.V., Mihajlenko M.A. Sorbcija renija i molibdena na gelevyh i makroporistom slaboosnovnyh anionitah iz sernokislyh rastvorov // Materialy 13 Vserossijskogo simpoziuma s uchastiem inostrannyh uchenyh. M., 2009. P. 169.
- [8] Chopabaeva N.N. Izuchenie sorbcionnyh svojstv novyh azotsoderzhashhih ionitov na osnove drevesiny po otnosheniju k ionam zolota(III) // Zh. prikl. himii. 2009. N 82. P. 556-562.
- [9] Zheng Yian, Hua Shuibo, Wang Aiqin. Adsorption behavior of Cu²⁺ from aqueous solutions onto starch-g-poly(acrylic acid)/sodium humate hydrogels // Desalination: International Journal of the Science and Technology of Water Desalting. 2010. Vol. 263, N 1-3. P. 170-175.
- [10] Takada Kazutake, Shibata Atsushi, Yuchi Akio Control of Ag⁺ permeation by Na⁺ concentration on the basis of volume change in poly(acrylic acid) gel // Chem. Lett. 2010. Vol. 39, N 9. P. 970-971.
- [11] Horkay Ferenc, Basser Peter J., Hecht Anne-Marie, Geissler Erik Structural investigations of a neutralized polyelectrolyte gel and an associating neutral hydrogel // Polymer: The International Journal for the Science and Technology of Polymers (including Polymer Communications). 2005. Vol. 46, N 12. P. 4242-4247.
- [12] Kondrashova Ju.G., Safronov A.P. Permanentnoe nabuhanie gidrogelej poliakrilovoj i polimetakrilovoj kislot // Tezisy dokladov 16 Rossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 85-letiju so dnja rozhdenija professora V. P. Kochergina. Ekaterinburg, 2006. P. 232-233.
- [13] Kim SeonJeong, Yoon Seoung Gil, Kim Sun I. Effect of the water state on the electrical bending behavior of chitosan/poly(diallyldimethylammonium chloride) hydrogels in NaCl solutions // J. Polym. Sci. B. 2004. Vol. 42, N 5. P. 914-921.
- [14] Chen Li, Yu Xiao, Li Qingya Reswelling behavior of polycation hydrogels carrying charges on the chain backbone by two-step surfactant bindings // J. Appl. Polym. Sci. 2006. Vol. 102, N 4. P. 3791-3794.
- [15] Sitnikova N.L., Malyshkina I.A., Gavrilova N.D., Philippova O.E. Role of the nature of counterions on the swelling behavior and dielectric properties of poly(methacrylic acid) gels in methanol // Proceedings of 4 International Symposium Molecular Order and Mobility in Polymer Systems. St. Petersburg, 2002. P. 229.
- [16] Jumadilov T.K., Abilov Zh.A., Kaldayeva S.S., Himersen H., Kondaurov R.G. Ionic equilibrium and conformational state in intergel system based on polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels // Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research. 2014. Vol. 1. P. 253-261.
- [17] Jumadilov T.K., Kondaurov R.G., Khakimzhanov S.A., Himersen H., Yeskaliyeva G.K. Influence of initial state of hydrogels on self-organization of polymer networks of polymethacrylic acid and poly-4-vinylpyridine at their remote interaction in an aqueous medium // Chemical Journal of Kazakhstan. 2018. N 1. P. 42-48.
- [18] Jumadilov T.K., Kondaurov R.G., Abilov Zh.A., Grazulevicius J.V., Akimov A.A. Influence of polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels mutual activation in intergel system on their sorption properties in relation to lanthanum (III) ions // Polymer Bulletin. 2017. Vol. 74. P. 4701-4713. DOI 10.1007/s00289-017-1985-3.

Резюме

Т. Қ. Жұмаділов, П. Г. Кондауров, А. М. Имангазы

ПОЛИНЕГІЗДЕР МЕН ПОЛІҚЫШҚЫЛДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН СОНЫМЕН ҚАТАР, ОЛАРДЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ НЕОДИМ ИОНЫНА ҚАТЫСТЫ ИНТЕРГЕЛЬДІ ЖҮЙЕНІ САЛЫСТЫРУ

Неодим иондарының сорбциялық экстракциясы полиакрил қышқылының (РАА), полиметакрил қышқылының (ПМАА), поли-4-винилпиридиннің (Р4VP) және поли-2-метил-5-винилпиридиннің (Р2М5VP) жекелеген полимерлі гидрогельдері

және интергель олардың негізінде дайындалған жүйелер: gPAA-gP4VP; gPAA-gP2M5VP; gPMAA-gP4VP; gPMAK-gP2M5VP.

Неодим иондарының сорбциялық дәрежесін гидрогельдермен салыстырғанда жеке гидрогелдермен салыстырғанда аралық деңгейде айтарлықтай жоғарылату интергельдік жүйеде гидрогельдердің жоғары дәрежеде иондалуымен байланысты екендігі анықталды.

Түйін сөздер: гидрогельдер, интергельдік жүйелер, сорбция, иондар, неодим.

Summary

T. K. Jumadilov, R. G. Kondaurov, A. M. Imangazy

COMPARISON OF SORPTION PROPERTIES OF POLYACIDS AND POLYBASES AS WELL AS INTERGEL SYSTEMS ON THEIR BASIS IN RELATION TO NEODYMIUM IONS

The sorption extraction of neodymium ions was investigated both by individual polymeric hydrogels of polyacrylic acid (PAA), polymethacrylic acid (PMAA), poly-4-vinylpyridine (P4VP) and poly-2-methyl-5-vinylpyridine (P2M5VP), and intergel systems prepared on their basis: gPAA-gP4VP; gPAA-gP2M5VP; gPMAA-gP4VP; gPMAK-gP2M5VP.

It has been established that a substantial increase in the sorption degree of neodymium ions by intergel systems, as compared with individual hydrogels, is probably associated with a high degree of ionization of hydrogels in the intergel system.

Key words: hydrogels, intergel systems, sorption, ions, neodymium.