

**DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF PRASEODYMIUM ION SORPTION
AT VARIOUS RATIO BY THE AMBERLITE IR120 (H⁺):AB-17-8 (OH⁻)
INTERPOLYMER SYSTEM**

T.K. Jumadilov¹, MK Kabulova^{2*}, J. V. Grazulevicius³

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

² Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³ Kaunas University of Technology, Lithuania

*E-mail: kabulovamk@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The aim of this study was to investigate the efficiency of praseodymium ion sorption using ion exchange resins containing Amberlite IR120 (H⁺) and AB-17-8 (OH⁻) at different composition ratios. *Goals and objectives.* The study established how conformational changes based on “long-range action” affect the efficiency of praseodymium ion sorption; the features of sorption of this ion in a static mode were studied. *Methods:* The study clarified the effect of resin composition on the sorption efficiency through a comprehensive experimental analysis, including sophisticated sorption experiments and characterization methods such as spectrophotometry and atomic emission spectroscopy. *Results and analysis.* Optimal coefficients providing the maximum efficiency of praseodymium ion removal were determined. In addition, the study examines the underlying mechanisms that determine the sorption properties, focusing on the relationship between resin composition, surface chemistry, and ionic interactions. *Conclusion:* The results obtained will not only contribute to the development of specialized ion exchange materials for the efficient recovery and purification of praseodymium, but also to a deeper understanding of ion exchange chromatography processes. This study is of great importance for praseodymium-dependent industries, as it offers strategies to address challenges associated with its production, purification, and use.

Keywords: interpolymer system, spectrophotometry, hydrogels, praseodymium, sorption of Pr³⁺ ions

Kabulova Madina Kabulovna	PhD student; E-mail: kabulovamk@mail.ru .
Jumadilov Talkybek Kozhataevich	Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: jumadilov@mail.ru .
Juozas Vidas Grazulevicius	Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt .

Citation: T.K. Jumadilov, MK Kabulova, J. V. Grazulevicius. Determination of the efficiency of praseodymium ion sorption at various ratio by the Amberlite IR120 (H⁺):AB-17-8 (OH⁻) interpolymer system. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 3(91), 53-62. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-3.2710-1185.34>

ПРАЗЕОДИМ ИОНДАРЫНЫҢ AMBERLITE IR120 (H⁺):AB-17-8 (OH⁻)ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК ЖҮЙЕ АРҚЫЛЫ ӘРТҮРЛІ ҚАТЫНАСТАРДАҒЫ СОРБЦИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН АНЫҚТАУ**Т.Қ. Джумадилов¹, М.К. Кабулова^{2*}, Ю.В. Гразулявичус³**¹«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан³Каунас технологиялық университеті, Литва

*E-mail: kabulovamk@mail.ru

Түйіндемe: Бұл зерттеу құрамында Amberlite IR120 (H⁺) және AB-17-8 (OH⁻) бар әртүрлі композициялық қатынаста ион алмастырғыш шайырларды қолдану арқылы празеодим иондарының сорбциясының тиімділігін зерттеуге арналған. *Мақсаттар мен міндеттер.* Зерттеу барысында празеодим ионының сорбциясының тиімділігіне «қашықтықтан әсер етуге» негізделген конформациялық өзгерістер қалай әсер ететіні анықталды; осы ионның статикалық режимде сорбциялану ерекшеліктері зерттелді. *Әдістері:* Кешенді сорбциялық тәжірибелерді және спектрофотометрия және атомдық эмиссиялық спектроскопия сияқты сипаттау әдістерін қамтитын кешенді эксперименттік талдау арқылы зерттеу шайыр құрамының сорбция тиімділігіне әсерін нақтылады. *Нәтижелер мен талдау.* Празеодим ионын жоюдың максималды тиімділігін қамтамасыз ететін оңтайлы шарттар мен коэффициенттер анықталды. Сонымен қатар, зерттеу шайыр құрамы, беттік химия және иондық әрекеттесулер арасындағы байланысқа баса назар аударып, сорбциялық қасиеттерді реттейтін негізгі механизмдер де зерттелді. *Қорытынды.* Алынған нәтижелер празеодимді тиімді бөліп алу және тазарту үшін арнайы ион алмастырғыш материалдарды әзірлеуге ғана емес, сонымен қатар иондық сорбция процестерін тереңірек түсінуге ықпал етеді. Бұл зерттеу празеодимге қатысты салалар үшін маңызды зор, оны өндіруге, тазартуға және пайдалануға байланысты қиындықтарды шешуге арналған стратегияларды ұсынады.

Түйін сөздер: интерполимерлік жүйе, спектрофотометрия, гидрогельдер, празеодим, Pr³⁺ ионының сорбциясы

<i>Кабулова Мадина Кабуловна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>х.ғ.д., профессор</i>
<i>Гразулявичус Юозас Видас</i>	<i>х.ғ.д., профессор</i>

1. Кіріспе

Празеодим иондарын (Pr³⁺) сирек кездесетін жер элементтері (СЖЭ) құрамынан бөліп алу — заманауи материалтану және химиялық технологияның өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл иондардың жоғары магниттік, оптикалық және каталитикалық қасиеттері оларды лазерлік материалдар, люминофорлар, жоғары өнімді магниттер және катализаторлар сияқты инновациялық қолданбалар үшін аса маңызды етеді. Дегенмен, СЖЭ-нің физика-химиялық қасиеттерінің ұқсастығы әдетте оларды бір-бірінен таза түрде бөліп алуды қиындатады [1-3].

Бұл жұмыстың мақсаттары празеодим ионының сорбциясының тиімділігіне «қашықтықтан әсер етуге» негізделген конформациялық өзгерістер қалай әсер ететінін анықтау; осы ионның статикалық режимде сорбциялану ерекшеліктерін білу.

2. Тәжірибелік бөлім

Реактивтер:

Құрылғылар: Ерітінділердің сутегі иондарының концентрациясы Metrohm-827 рН-метрмен (Швейцария) өлшенді. Гидрогельдердің массасы SHIMADZU AY220 аналитикалық таразысында (Жапония) өлшенді. Өлшеу қателігі 1% аспайды. Ерітіндідегі Pr^{3+} иондарының концентрациясын өлшеу үшін Jenway-6305 (Ұлыбритания) және КФК-3М (Ресей) спектрофотометрлері қолданылды.

Әдістер:

Празеодим иондарын сорбциялау бастапқы концентрациясы 5 мг/л де празеодим нитратының ($\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) үлгілері сулы ерітінділерінен статикалық режимде жүргізілді. Сорбенттер ретінде әртүрлі функционалды топтары бар Amberlite IR120 (катионалмастырғыш, H^+ -формасы) және АВ-17-8(ОН) (анионалмастырғыш, OH^- -формасы) ион алмастырғыш шайырлары қолданылды. Полимерлердің жалпы массасы 200 мл ерітіндіге 0,12 г құрады, ал олардың арақатынасы 6:0-ден 0:6-ға дейін өзгерді.

Интерполимерлік жүйелері құрғақ сорбенттерді көрсетілген қатынаста қашықтықтан араластыру арқылы дайындалды, содан кейін олар $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ерітіндісіне қосылды. Әрекеттесу бөлме температурасында 30 минут, 2,5 сағат, 6 сағат, 24 сағат және 48 сағат бойы жүргізілді. Көрсетілген уақыттан кейін ортаның рН мәні және ерітіндідегі Pr^{3+} қалдық концентрациясы атомдық эмиссиялық спектроскопия арқылы анықталды.

а. Празеодим иондарын анықтау әдісі

СЖМ иондарын анықтау әдісі Арсеназо III органикалық аналитикалық реагентінің лантан иондарымен түсті комплексті қосылыс түзуіне негізделген.

Сорбция дәрежесі келесі формула бойынша есептелді:

$$\eta = \frac{C_{\text{баст.}} - C_{\text{қал.}}}{C_{\text{баст.}}} \cdot 100\%$$

Мұндағы $C_{\text{баст.}}$ и $C_{\text{қал.}}$ — г/л сәйкес лантанның ерітіндідегі бастапқы және қалдық концентрациясы.

Полимер тізбектерінің байланысу дәрежесі келесідей формулаға сәйкес есептеу арқылы анықталды:

$$\theta = \frac{V_{\text{сорб.}}}{V} \cdot 100\%$$

мұндағы $V_{\text{сорб.}}$ — сорбцияланған лантаны бар полимер бірліктерінің саны, өлшем бірлігі - моль; V — полимер байланыстарының жалпы саны

(ерітіндіде екі гидрогель болса, ол әрбір полимер гидрогелінің байланыстарының қосындысы ретінде есептеледі), моль.\

3. Нәтижелер және талдау

Осыған дейінгі интерполимерлі жүйелердің зерттеулері полимерлердің өзара активтенуі СЖМ-ға қатысты электрохимиялық және сорбциялық қасиеттердің өзгеруіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті [4], [5], [6], [7], [8]. Бұл зерттеулерді одан әрі жетілдіру үшін празеодим иондарына қатысты интерполимерлі жүйелердің сорбциялық қасиеттеріне зерттеу жүргіздік.

Amberlite IR120:AB-17-8 интерполимерлер жүйесімен сорбциялау кезінде Pr^{3+} иондарының концентрациясының молярлық қатынас пен уақытқа байланысты өзгеруі 1-кестеде көрсетілген.

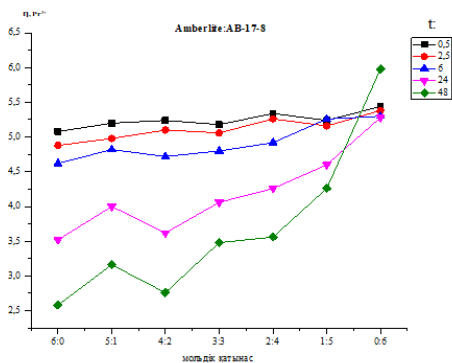
Сорбция процесінің бастапқы уақытында празеодим иондарының концентрациясы жоғары болған. Бірақ қашықтан әрекеттесудің 24 және 48 сағат уақытында концентрация мәні күрт төмендеген. Бұл интерполимерлі жүйелердің 4:2 қатынасында айқын көрінеді. Әрекеттесудің 48 сағатында празеодим иондарының сорбциясы максималды мәнге жеткен. Бұдан интерполимерлі жүйелердегі полимер жұптарының өзара активтенуі олардың сорбциялық қабілетінің өсуіне ықпал ететінін болжауға болады.

Кесте 1 - Статикалық режимде празеодим сорбциясының уақытқа тәуелділігі (қалдық концентрациясы), бастапқы концентрация $C = 5 \text{ мг/л}$.

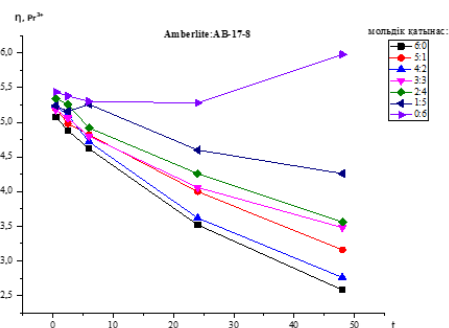
Amberlite IR120:AB-17- 8	0.5	2.5	6	24	48
6:0	4.98	4.88	4.62	3.52	2.58
5:1	4.99	4.98	4.82	4	3.16
4:2	4.99	4.94	4.72	3.62	2.76
3:3	4.97	4.95	4.8	4.06	3.48
2:4	4.97	4.96	4.92	4.26	3.56
1:5	4.99	4.98	4.87	4.6	4.26
0:6	5	4.98	4.84	4.83	4.80

Amberlite IR120:AB-17-8 интерполимер жүйесінің празеодим иондарын молярлық қатынас пен уақытқа байланысты бөліп алу дәрежесі 1,2-суретте көрсетілген. 1-суретте сорбция дәрежесінің уақыт өткен сайын арта түсетінін көрсетеді. Әрекеттесудің алғашқы уақытында молярлық қатынастары 5:1, 4:2, 3:3 және 1:5 интерполимерлі жүйелер мен жеке ион алмастырғыштардың (6:0, 0:6) сорбция дәрежесінде қатты айырмашылық жоқ.

48 сағаттан кейін ең жоғары празеодим ионының қалпына келуі (2,52 мг/л) құрамында тек Амберлит IR120 бар 6:0 жүйесінде байқалды.

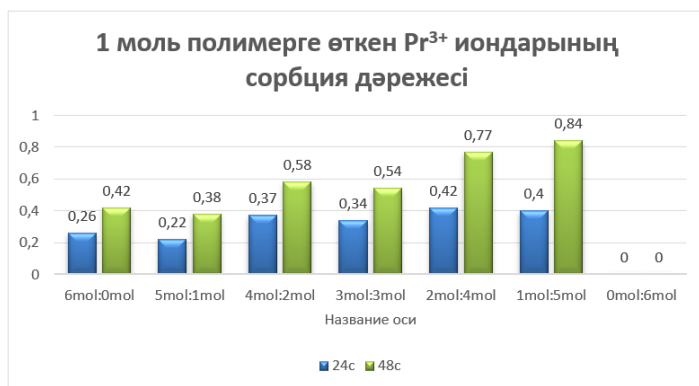


Сурет 1 - Amberlite IR120:AB-17-8 интерполимерлер жүйесімен сорбциялау кезінде ион алмастырғыштар мен уақыттың моль арақатынасына байланысты Pr^{3+} иондарының қалдық концентрациясының өзгеруі.



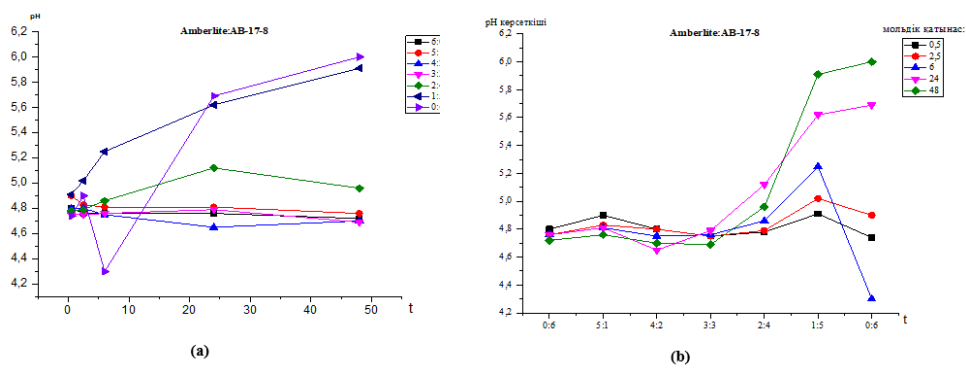
Сурет 2 - Празеодим иондарының сорбция дәрежесінің уақыт өте келе Amberlite IR120 (H^+) және AB-17-8 (OH^-) интерполимерлерінің қатынасына тәуелділігі.

Бірақ сорбенттің бір мольіне қайта есептегенде (гистограмма 1) ең жоғары сорбциялық қабілеттілікке (0,84 мг/ммоль) 1:5 қатынасында қол жеткізілді (Amberlite:AB-17-8), бұл AB-17-8 үлесінің жоғарылауымен ион алмастырғыштардың өзара әрекеттесуінің синергетикалық әсерін көрсетеді.



Гистограмма 1 - 1 моль полимерге өткен Pr^{3+} иондарының сорбция дәрежесінің уақыт өте келе Amberlite IR120 (H^+) және AB-17-8 (OH^-) интерполимерінің қатынасына тәуелділігі.

Ерітіндінің рН-ның өзгеруі де ион алмасу процестерінің пайда болуын растайды. Барлық композициялар үшін уақыт өте келе рН-ның біркелкі жоғарылауы байқалды (5-сурет), әсіресе жоғары анониттік мазмұнда айқын, бұл H^+ иондарының десорбциясын және OH^- топтарының металды байланыстыруға қатысуын көрсетеді.



Сурет 3 - Әртүрлі қатынастағы Amberlite IR120:AB-17-8интерполимерлерінің моль қатынасына (а) және рН көрсеткіштерінің (б) уақытқа тәуелділігі.

Amberlite IR120:AB-17-8 интерполимер жүйесіндегі полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің (празеодим иондарына қатысты) уақытқа байланысты тәуелділігі 2-кестеде көрсетілген. Полимер тізбегінің празеодим иондарымен байланысу дәрежесі полиионның химиялық табиғатына және иондану дәрежесіне байланысты. Сондай-ақ байланыс қарама-қарсы таңбалы зарядтардың таза электростатикалық тартылуымен де, басқа да ерекше әсерлесумен байланысты болуы мүмкін. Интерполимер жүйесіндегі полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің ең жоғары мәндері 48 сағаттан кейін Amberlite IR120 және AB-17-8 6:0; 5:1 және 4:2 қатынастарында сәйкесінше 2.86%, 2.21% және 2.69% құрады. Ал Amberlite IR120 және AB-17-8 жеке ион алмастырғыш шайырлардың полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің мәндері 48 сағаттан кейін тиісінше 2.86% және 0.23% құрады.

Кесте 2–Полимертізбектерініңбайланысудәрежесі(θ,%)

t,сағат	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	0.021	0.012	0.012	0.036	0.036	0.011	0
2.5	0.141	0.024	0.072	0.060	0.048	0.023	0.023
6	0.449	0.216	0.336	0.240	0.096	0.153	0.189
24	1.750	1.202	1.659	1.130	0.890	0.473	0.201
48	2.862	2.213	2.694	1.828	1.732	0.875	0.236

Кесте 3–Тиімді динамикалық сорбциялық сиымдылық (Q , ммоль/г)

t,сағат	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	0.0000011	0.0000006	0.0000006	0.0000019	0.0000019	0.0000006	0
2.5	0.000007	0.0000013	0.0000038	0.0000032	0.0000025	0.0000012	0.0000012
6	0.0000224	0.0000117	0.0000181	0.0000128	0.0000050	0.0000082	0.0000100
24	0.000087	0.0000652	0.000089	0.0000603	0.0000471	0.0000252	0.0000106
48	0.0001431	0.0001201	0.0001450	0.0000975	0.0000916	0.0000466	0.0000125

Осылайша, ИП құрамына АВ-17-8 енгізу айқынырақ анион алмасу механизмінің арқасында Pr^{3+} селективтілігін айтарлықтай арттырады, ал Amberlite IR120 қышқыл топтарына байланысты иондардың көлемдік жинақталуына көбірек жауап береді. Бір жүйедегі катиониттер мен аниониттердің ұқсас әрекеттесуі бұрын неодим және самарий сияқты сирек жер металдарын алу бойынша зерттеулерде атап өтілді [9,10].

Нәтижелерге сүйене отырып, празеодимді оңтайлы бөліп алуға Amberlite IR120 жоғары кинетикалық сипаттамалары мен АВ-17-8 жоғары сорбциялық қабілетін біріктіретін ион алмастырғыштардың (4:2 және 1:5) теңдестірілген құрамымен қол жеткізілетінін айтуға болады.

4. Қорытынды

Қорытындылай келе, Amberlite IR120 және АВ-17-8 негізіндегі интерполимерлік жүйелерді пайдалана отырып, празеодим иондарын сорбциялау тиімділігін зерттеу құнды нәтижелер берді. Жүйелі тәжірибелер нәтижесінде интерполимер жүйесінің сорбциялық тиімділігі 4:2 (Amberlite:АВ-17-8) және 1:5 (Amberlite:АВ-17-8) қатынасында ең жоғары деңгейге жететіні анықталды. Бұл оңтайлы қатынас ерітіндіден празеодим иондарын бөлудің маңызды әлеуетін және бұл екі полимердің сорбциялық қабілетін арттырудағы синергетикалық әсерін көрсетті.

Бұл мақалада празеодим иондарын әртүрлі қатынастардағы интерполимерлік жүйелер арқылы бөлудің тиімділігі зерттелді. Полимерлік жүйелердің құрылымы мен Pr^{3+} иондарының арақатынасы, сондай-ақ рН және полимерлердің функционалды топтарының параметрлердің әсері талданды.

Мақалада Amberlite IR120 (H^+) : АВ-17-8 (OH^-) ионалмастырғыш шайырларын әртүрлі қатынаста қолдану арқылы празеодим иондарын сорбциялау процесін жүйелі түрде зерттеу ұсынылған. Тәжірибелер келесі қатынаста жүргізілді: 6:0, 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 және 0:6, бұл компонент концентрациясының сорбция тиімділігіне әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері празеодимнен суды тазарту процесін оңтайландыру үшін практикалық мәліметтерді беріп қана қоймайды, сонымен қатар иондардың ион алмастырғыш шайырлармен әрекеттесу механизмдері

туралы түсінігімізді кеңейтеді. Алынған мәліметтер экология және өнеркәсіп салаларында үлкен маңызы бар сирек жер элементтерін сулы ерітінділерден тазартудың тиімді технологияларын әзірлеу үшін пайдасы орасан зор. Празеодимді таза түрде алудың экологиялық және экономикалық тиімді әдістерін әзірлеу — қазіргі уақыттағы химиялық технология мен материалтану саласындағы маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыру бойынша №AP26195783 және №BR27101179 жобасымен қаржыландырылды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЦИИ ИОНОВ ПРАЗЕОДИМА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СООТНОШЕНИЯХ ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ AMBERLITE IR120 (H⁺):AB-17-8 (OH⁻)

Т.К. Джумадилов ¹, М.К. Кабулова ^{2*}, Ю. В. Гразулявичюс ³

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

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

³Каунасский технологический университет, Литва

*E-mail: kabuslovamk@mail.ru

Резюме: Целью данного исследования было изучение эффективности сорбции ионов празеодима с использованием ионообменных смол, содержащих Amberlite IR120 (H⁺) и AB-17-8 (OH⁻) при различных соотношениях состава.

Цели и задачи. В ходе исследования было установлено, как конформационные изменения, основанные на «дальнодействии», влияют на эффективность сорбции иона празеодима; изучены особенности сорбции этого иона в статическом режиме.

Методы: Исследование проявило влияние состава смолы на эффективность сорбции посредством комплексного экспериментального анализа, включающего сложные эксперименты по сорбции и методы характеристики, такие как спектрофотометрия и атомно-эмиссионная спектроскопия.

Результаты и обсуждение. Определены оптимальные коэффициенты, обеспечивающие максимальную эффективность удаления ионов празеодима. Кроме того, в исследовании изучаются основные механизмы, определяющие сорбционные свойства, с упором на взаимосвязь между составом смолы, химией поверхности и ионными взаимодействиями. **Заключение.** Полученные результаты будут способствовать не только разработке специальных ионообменных материалов для эффективного извлечения и очистки празеодима, но и более глубокому пониманию процессов ионообменной хроматографии. Это исследование имеет большое значение для отраслей, зависящих от празеодима, поскольку предлагает стратегии решения проблем, связанных с его производством, очисткой и использованием.

Ключевые слова: интерполимерная система, спектрофотометрия, гидрогели, празеодим, сорбция ионов Pt³⁺

Кабулова Мадина Кабуловна

PhD докторант

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич

д.х.н., профессор

Гразулявичюс Юозас Видас

д.х.н., профессор

Әдебиеттер тізімі:

1. Balaran, V. Potential future alternative resources for rare earth elements: Opportunities and challenges. *Minerals* **2023**, 13, 425. DOI:10.3390/min13030425
2. Maria, L.; Cruz, A.; Carretas, J.M.; Monteiro, B.; Galinha, C.; Gomes, S.S.; Araújo, M.F.; Paiva, I.; Marçalo, J.; Leal, J.P. Improving the selective extraction of lanthanides by using functionalised ionic liquid. *Sep. Purif. Technol.* **2020**, 237, 116354. DOI: 10.1016/j.seppur.2019.116354
3. Курбанбаева А.Ә., Холмунинова Д.А., Зарипова Р.Ш. Гидрогели на основе акриловой кислоты и диамина соединений *Univers.xim.ibio.* **2023**, 9, No111 DOI:10.32743/UniChem.2023.111.9.15925
4. Джумадилов Т.К. и др. Особенности экстракции неодима интегральной системой на основе гидрогелей полиметакриловой кислоты и поли-4-винилпиридина. *Химический журнал Казахстана.* **2020**; 1(69):54-61
5. Алимбекова Б.Т., Корганбаева Ж.К., Химерсен Х., Кондауров Р.Г., Джумадилов Т.К. Особенности дистанционного взаимодействия гидрогелей полиметакриловой кислоты и поли-2-метил-5-винилпиридина в водной среде. *Журнал химии и химической инженерии.* **2014**; 3(8):265-269.
6. Джумадилов Т.К., Абилов Ж.А., Кондауров Р.Г. Влияние взаимной активации гидрогелей полиметакриловой кислоты и поли-2-метил-5-винилпиридина на сорбционную емкость интергелевой системы по отношению к ионам лантана. *Химический журнал Казахстана.* **2014**; 4:128–135.
7. Pagano G., Guida M., Tommasi F., Oral R. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* **2015**, 115, 40–48. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.01.030
8. Jumadilov T., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A., Khimersen K., Grazulevicius J. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials*, **2021**, 14, 5402. DOI:10.3390/ma14185402
9. Krishnan, S.; Zulkapli, N.S.; Kamyab, H.; Taib, S.M.; Din, M.F.B.M.; Majid, Z.A.; Chairapat, S.; Kenzo, I.; Ichikawa, Y.; Nasrullah, M.; et al. Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview. *Environ. Technol. Innov.* **2021**, 22, 101525. DOI:10.1016/j.eti.2021.101525
10. Sert, S.; Altas, Y.; Tel, H.; Inan, S.; Cetinkaya, B.; Sengul, S.; Ozkan, B. Investigation of sorption behaviors of La, Pr, Nd, Sm, Eu and Gd on D2EDPA-impregnated XAD7 resin in nitric acid medium. *Sep. Sci. Technol.* **2021**, 56, 26–35. DOI:10.1080/01496395.2019.1708107

References:

1. Balaran, V. Potential future alternative resources for rare earth elements: Opportunities and challenges. *Minerals* **2023**, 13, 425. DOI:10.3390/min13030425
2. Maria, L.; Cruz, A.; Carretas, J.M.; Monteiro, B.; Galinha, C.; Gomes, S.S.; Araújo, M.F.; Paiva, I.; Marçalo, J.; Leal, J.P. Improving the selective extraction of lanthanides by using functionalised ionic liquid. *Sep. Purif. Technol.* **2020**, 237, 116354. DOI:10.1016/j.seppur.2019.116354
3. Kurbanbaeva A.E., Holmuminova D.A., Zaripova R.Sh. Hidrogeli na osnove akrilovoj kisloty i diamina soedinenij *Univers.xim.ibio.* **2023**, 9, No111 DOI:10.32743/UniChem.2023.111.9.15925
4. Jumadilov T.K. i dr. Osobennosti e`kstrakcii neodima integral`noj sistemoj na osnove gidrogelej polimetakrilovoj kisloty i poli-4-vinilpiridina. *Ximicheskij zhurnal Kazaxstana.* **2020**; 1(69):54-61
5. Alimbekova B.T., Korganbaeva Zh.K., Ximersen X., Kondaurov R.G., Dzhumadilov T.K. Osobennosti distancionnogo vzaimodejstviya gidrogelej polimetakrilovoj kisloty i poli-2-metil-5-vinilpiridina v vodnojsrede. *Zhurnal ximii i ximicheskoy inzhenerii.* **2014**; 3(8):265-269.
6. Jumadilov T.K., AbilovZh.A., Kondaurov R.G. Vliyanie vzaimnoj aktivacii gidrogelej polimetakrilovoj kisloty i poli-2-metil-5-vinilpiridina na sorbcionnu yuemkost` intergelevoy sistemy poотношению k ionamlantana. *Ximicheskij zhurnal Kazaxstana.* **2014**; 4:128–135.
7. Pagano G., Guida M., Tommasi F., Oral R. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* **2015**, 115, 40–48. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.01.030

8. Jumadilov T., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A., Khimersen K., Grazulevicius J. Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. *Materials*, **2021**, 14, 5402. DOI:10.3390/ma14185402.

9. Krishnan, S.; Zulkapli, N.S.; Kamyab, H.; Taib, S.M.; Din, M.F.B.M.; Majid, Z.A.; Chaiprapat, S.; Kenzo, I.; Ichikawa, Y.; Nasrullah, M.; et al. Current technologies for recovery of metals from industrial wastes: An overview. *Environ. Technol. Innov.* **2021**, 22, 101525. DOI:10.1016/j.eti.2021.101525

10. Sert, S.; Altas, Y.; Tel, H.; Inan, S.; Cetinkaya, B.; Sengul, S.; Ozkan, B. Investigation of sorption behaviors of La, Pr, Nd, Sm, Eu and Gd on D2EHPA-impregnated XAD7 resin in nitric acid medium. *Sep. Sci. Technol.* **2021**, 56, 26–35. DOI:10.1080/01496395.2019.1708107