

CHANGING THE DEGREE OF CONNECTION OF POLYMER CHAINS WITH GOLD AND IRON IONS IN THE INTERPOLYMER SYSTEM KU-2-8-P4VP

T.K. Jumadilov^{1,2}, G.T. Dyussembayeva^{1,2*}, Kh. Khimersen^{1,2},
Zh.S. Mukatayeva², J.V. Gražulevicius³

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

² Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³ Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Abstract. *Introduction.* This paper presents the degree of binding of polymer chains with gold and iron ions based on cross-linked polyelectrolyte interpolymer systems. The objects of study were the cation exchanger KU-2-8 and the anion exchanger P4VP, which are used in domestic production. *The purpose.* Determination of the sorption properties of the interpolymer system based on the cationite KU-2-8 and the anionite P4VP, as well as experimental confirmation of the degree of binding with gold and iron ions. *The obtained results.* During the study, the degree of binding of polymer chains to gold (Au⁺) and iron (Fe²⁺) ions in the KU-2-8-P4VP interpolymer system was determined depending on the molar ratio and time. Compared to the individual polymer KU-2-8 (6:0), the anionite P4VP (0:6) showed a significantly higher degree of gold ion sorption, which stabilized over time. The maximum degree of binding of gold ions to the polymer chain was recorded after 6 hours in the interpolymer system at a ratio of (2:4) and amounted to 3.16 %. The degree of iron ion binding, especially at a ratio of 4:2, reached a significantly higher level after 24 hours, amounting to 6.46 %. As a result of remote interaction, areas of change were identified at a ratio of 4:2, and after 24 hours, the degree of gold and iron ion binding increased by 8.77 %. As can be seen from the diagram, the degree of iron ion binding in the interpolymer system is less intense compared to gold ions, and in almost all cases, the degree of gold ion binding reaches maximum values. In the KU-2-8 – P4VP interpolymer system in a 1:5 ratio, the degree of binding of gold ions to the polymer chain within 24 hours was 3.13 %, and for iron ions, this indicator was 0.55 %. *Conclusion.* The results of the study indicate that in the interpolymer system, the degree of binding of gold ions to the polymer chain is significantly higher, while the degree of binding of the polymer to iron ions is relatively weak and stable.

Keywords: KU-2-8, P4VP, interpolymer system, hydrogels, sorption, desorption, remote interaction, gold ions, iron ions, degree of connection.

Jumadilov Talkybek Kozhatayevich	Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: jumadilov@mail.ru
Dyussembayeva Gulnur Toktagazinovna	PhD student; E-mail: g_gazinovna@mail.ru
Mukatayeva Zhazira Sagatbekovna	Candidate of Chemical Sciences, associated Professor; E-mail: jazira-1974@mail.ru

Citation: Jumadilov T.K., Dyussembayeva G.T., Mukatayeva Zh.S., Khimersen Kh., Gražulevicius J.V. Changing the degree of connection of polymer chains with gold and iron ions in the interpolymer system KU-2-8-P4VP. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 3(91), 34-43. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-3.2710-1185.32>

Khimersen Khuangul	PhD, Scientific Researcher; E-mail: huana88@mail.ru
Gražulevičius Juozas Vidas	Full professor, Kaunas University of Technology; E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt

КУ-2-8-П4ВП ИНТЕРПОЛИМЕРЛІ ЖҮЙЕСІНДЕ АЛТЫН ЖӘНЕ ТЕМІР ИОНДАРЫМЕН ПОЛИМЕР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ БАЙЛАНЫСУ ДӘРЕЖЕСІНІҢ ӨЗГЕРІСТЕРІ

**Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2*}, Ж.С. Мукатаева²,
Х. Химэрсэн^{1,2}, Ю.В. Гражулявичюс³**

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

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³Kaunas технологиялық университеті, Каунас, Литва

*E-mail: g_gazinovna@mail.ru

Түйіндемe. *Kipicne.* Бұл зертеуде торланған полиэлектрoлиттік интерполимерлік жүйелерге негізделген алтын және темір иондарымен полимер тізбектерінің байланысу дәрежесі ұсынылады. Зерттеу объектілері ретінде отандық өндірісте кенінен қолданылатын КУ-2-8 катиониті мен П4ВП аниониті таңдап алынды. *Жұмыстың мақсаты.* Катионит КУ-2-8 және анионит П4ВП негізінде құрылған интерполимерлік жүйенің сорбциялық қасиеттерін анықтау, сондай-ақ алтын және темір иондарымен байланысу дәрежесін тәжірибиелік тұрғыда дәлелдеу. *Алынған нәтижелер.* Зерттеу барысында КУ-2-8 – П4ВП интерполимерлік жүйесінде алтын (Au⁺) темір (Fe²⁺) иондарының мөлдік қатынасы мен уақытқа байланысты полимер тізбегінің байланысу дәрежесі анықталды. КУ-2-8 (6:0) жеке полимеріне қарағанда анионит П4ВП (0:6) алтын иондарымен сору дәрежесі едәуір жоғары нәтиже көрсеткен және уақыт өте тұрақталған. Полимер тізбегінің алтын иондары үшін максималды байланысу дәрежесі 6 сағаттан соң интерполимерлік жүйенің (2:4) қатынасында тіркеліп, сәйкесінше 3.16 % құрады. Ал темір иондарының байланысу дәрежесі әсіресе 4:2 қатынасында 24 сағаттан соң айтарлықтар жоғарғы көрсеткішке жетіп, байланысу дәрежесі 6.46 % көрсетті. Қашықтықтан әрекеттесу нәтижесінде 4:2 қатынасында өзгеріс аймақтары анықталып, 24 сағаттан кейін алтын және темір иондарының байланысу дәрежесі 8.77 % артқаны байқалды. Диаграмма мәліметтері көрсеткендей, интерполимерлік жүйенің темір иондарының байланысу дәрежесі алтын иондарымен салыстырғанда онша қарқынды емес, сәйкесінше алтын иондарының байланысу дәрежесі максималды мәнді көрсеткен. КУ-2-8 – П4ВП интерполимерлік жүйенің 1:5 қатынасында 24 сағат ішінде алтын иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі тиесінше 3.13 %, ал темір иондары үшін бұл көрсеткіш 0.55 % құрады. *Қорытынды.* Алынған зерттеу нәтижелері интерполимерлік жүйеде алтын иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі темір иондарына қарағанда анағұрлым жоғары екенін және полимер мен иондар арасындағы өзара байланысу дәрежесінің салыстырмалы түрде әлсіз әрі тұрақты екенін айғақтайды.

Түйін сөздер: КУ-2-8, П4ВП, интерполимерлік жүйелер, гидрогельдер, сорбция дәрежесі, десорбция қашықтан әрекеттесу, алтын иондары, темір иондары, байланысу дәрежесі

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич	Химия ғылымдарының докторы, профессор
Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна	PhD докторант
Мукатаева Жазира Сағатбековна	Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор
Химэрсэн Хуангүл	PhD, ғылыми қызметкер
Гражулявичюс Юозас Видас	Профессор

1. Кіріспе

Соңғы уақытта сирек және бағалы металл иондарын ерітінділерден тиімді бөліп алу мен тазарту басты проблемалардың бірі болып табылады [1-2]. Алтын- өзінің инерттілігіне, жоғары электр өткізгіштігіне және бірегей оптикалық қасиеттеріне байланысты жоғары бағаланатын бағалы метал болып табылады, бұл оның электроникада, зергерлік бұйымдарда және басқа да өнеркәсіпте кеңінен қолданылуына септігін тигізеді [3-4]. Алтын әр түрлі геологиялық түзілімдерде, соның ішінде шоғырлы және шөгінді кен орындарында, сондай-ақ құрамында басқа металдар жиі кездесетін күрделі кендерде кездеседі [5]. Кендерден және қайта өңделген материалдардан алтынды бөліп алу, көбінесе мыс, темір және мышьяк сияқты кедергі жасайтын элементтердің болуына байланысты күрделі процестерді қамтиды. Алтынды сулы ерітінділерден бөліп алуға өнеркәсіптік ионалмастырғыш материалдарды қолданады [6-7]. Ионалмастырғыш материалдар- кейбір органикалық еріткіштерде белгілі бір дәрежеде ісінетін, ерімейтін қатты полимерлер [8]. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде катионит және аниониттен құралған интерполимерлік жүйенің сорбциялық процестерінде айқын белсенділік байқалды. Сондықтан, зерттеу объектілеріне макромолекулалық сорбенттер ретінде кеңінен қолданылатын өнеркәсіптік ион алмастырғыш шайырлар КУ-2-8 және П4ВП таңдап алынды [9-10].

КУ-2-8– гель құрлымды, сульфохышқылдық функционалдық топтары ($-SO_3H$) бар катионалмастырғыш шайыр. Су жұмсарту, минералсыздандыру, ауыр металл иондарын сорбциялау және гидрометаллургиялық процестерде қолданылады. Бөлшектерінің мөлшері 0.3–1.25 мм, ал ылғалдылығы шамамен 45–55% аралығында болады [11].

Поли(4-винилпиридин)– әлсіз негіздік қасиетке ие гидрогель. Пиридин сақинасы бар винил мономерлерінің полимерленуі арқылы алынатын синтетикалық полимер. Бөлшектерінің мөлшері 0.015 мм [12].

2. Тәжірбиелік бөлім

Зерттеуге келесі материалдар пайдаланылды: 1) КУ2-8 (H^+ формасы) (Новохим, Харьков, Украина) стирол мен дивинилбензол саполимерін сульфохлорлау арқылы алынған катион алмастырғыш шайыр және 2) Поли(4-винилпиридин) (П4ВП) – әлсіз негізді, гель құрлымды анионалмастырғыш (Сигма-Олдрих, Сент-Луис, АҚШ) дивинилбензолмен сополимері пайдаланылды. Құрал-жабдықтар: Атомды эмиссиондық спектрометр (ICP-OES) көмегімен алтын және темір иондарының қалдық концентрациясы анықталды. Құралдың толқын ұзындығының диапазоны 167.021-ден 852.145 нм-ге дейін. Өлшеу қателігі 1%-дан аз болғандықтан, алынған мәліметтердің жоғары дәлдігі қамтамасыз етілді. Плазма шығаратын спектрлік сызықтар үлгідегі элементтерге сәйкес келеді. Әрбір спектрлік сызықтың қарқындылығы үлгідегі сәйкес элементтің концентрациясына пропорционал болады. Үлгілер A&D Company, Limited (Токио, Жапония) шығарған HR-100AZG аналитикалық таразыда өлшенді.

Интерполимерлік жүйелердің сорбциялық қасиеттерін зерттеу:

1) Өндірістік ион алмастырғыш шайырлар (КУ-2-8, П4ВП) негізінде мольдік қатынастары әртүрлі КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік жүйелер құрылды;

2) Әрбір полимерлі макромолекулалардың есептелген мөлшері арнайы полипропиленді сүзгіге салынды;

3) Иониттер салынған полипропилен сүзгілер ерітіндіге бір бірінен 2 см ара қашықтықта орналастырылды;

Полимер тізбегімен байланысу дәрежесін (θ) анықтау:

Алтын және темір иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесін анықтау макромолекуланың иондану дәрежесін көрсететін, сондай-ақ полимер құрлысы мен тізбектерінің алтын және темір иондарымен байланысу дәрежесін сандық тұрғыдан анықтауды білдіреді. Полимер тізбегінің түйінаралық буындарының метал иондарымен байланысу дәрежесі (θ) келесі формула бойынша есептелді:

$$\theta = \frac{v_{\text{сорб}}}{v} * 100\%$$

мұндағы $v_{\text{сорб}}$ – сорбцияланған алтын және темір иондарының мөлшері, моль; v – полимер массасының мөлшері (егер ерітіндіде 2 полимер болған жағдайда, онда олардың әрқайсысының мөлшерінің қосындысы ретінде қарастырылады), моль.

3. Нәтижелер және оларды талқылау.

Алтын және темір иондарымен полимер тізбектерінің байланысу дәрежесін анықтау

КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің полимер тізбегінің алтын және темір иондарымен байланысу дәрежесінің молярлық қатынас пен уақытқа байланысты өзгерістері 1 және 2- кестеде көрсетілген. Сорбция процесінің бастапқы кезеңінде полимер тізбектерінің байланысу дәрежесі әлі толық іске қосылмағандықтан, алтын иондарын аз мөлшерде сіңіреді, бұл процестің енді ғана басталғанын көрсетеді.

Кесте 1- КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимер тізбегінің алтын иондарымен байланысу дәрежесі

θ (Au^+), %							
КУ-2-8- П4ВП, моль:моль							
t, h	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	0.15	0.95	0.99	1.36	1.50	2.19	0.68
2.5	0.67	1.37	1.74	1.98	2.66	2.42	0.22
6	0.17	1.76	2.60	2.34	3.16	2.43	1.52
24	0.32	2.33	2.32	1.92	2.81	3.13	1.68
48	0.53	1.99	1.58	1.67	2.68	2.65	1.86

КУ-2-8 (6:0) қатынасында байланысу дәрежесі айтарлықтай өзгеріссіз қалса, салыстырмалы түрде П4ВП (0:6) полимерінің алтын иондарымен сору дәрежесі едәуір жоғары және уақыт өте тұрақталғанын байқаймыз. Қашықтықтан өзара әрекеттесу нәтижесінде интерполимер жүйесінің 5:1 қатынасында алтын иондарының сорылуы бастапқы уақытқа қарағанда біршама артқан, байланысу дәрежесі 24 сағатта 2.33 % құрайды. Ал 4:2 қатынасында алтын ионының байланысу дәрежесі алғашқы кезде 0.99 % болса, уақыт өте келе біртіндеп артып, 6 сағатта 2.60 % жеткен, алайда 48 сағатта бұл көрсеткіш 1.58 % құрады. Бұл жағдайда сорбция процесінің баяу жүргені байқалады. 3:3 қатынасында полимер тізбегінің алтын иондарымен байланысу дәрежесі уақыттың ағымына байланысты өзгеріп, 6 сағатта 2.34 % өскен, кейін жайлап 1.67 % түскен. Полимер тізбегінің максималды байланысу дәрежесі 6 сағаттан соң КУ-2-8-П4ВП интерполимерлік жүйесінің 2:4 қатынасында тіркелген, сәйкесінше 3.16 % құрады, бұл қатынас полимердің сорбция процесіне қолайлы екенін дәлелдейді. 1:5 қатынасында алтын иондарымен байланысу дәрежесі уақыт өте жоғарылап, 24 сағатта 3.13% жетіп, кейін аздап төмендегені байқалады. Бұл алынған көрсеткіштер полимер тізбегінің алтын иондарын тиімді сіңіретінін және ерітіндідегі сорбциялық процесс біршама уақыттан кейін тепе-тендікке жететінін көрсетті.

Кесте 2 - КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимер тізбегінің темір иондарымен байланысу дәрежесі

$\theta (Fe^{2+}), \%$							
КУ-2-8- П4ВП, моль:моль							
t, h	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	0.37	1.42	1.35	1.67	1.17	1.46	0.0
2,5	0.59	2.52	3.43	2.77	3.43	1.28	0.22
6	0.43	3.34	5.78	5.07	4.79	0.56	0.97
24	0.21	5.04	6.46	4.15	1.66	0.55	0.43
48	0.59	3.45	3.99	1.38	1.24	0.55	0.27

КУ-2-8 катионит (6:0) және П4ВП анионит (0:6) қатынасында темір иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі төмен және елеулі өзгерістер байқалмайды. Бұл екі жүйеде де темір иондарын сорбциялауға қолайлы емес, яғни әрекеттесу процесінің баяу жүретіндігін көрсетеді. Полимер тізбегінің байланысу дәрежесі әсіресе 5:1 қатынасында 24 сағаттан соң айтарлықтар жоғарғы көрсеткішке жетіп, байланысу дәрежесі 5.04 % құрады. Жүйенің 4:2 қатынасында полимер тізбегінің темір иондарымен байланысу дәрежесінің көрсеткіштері 48 сағаттан кейін 5.78 % - 6.46 % аралығында тұрақты және жоғары мәндерге жетті. Қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде 3:3 қатынасында байланысу дәрежесі 0.5 сағаттан бастап 24 сағатқа дейін белсенді жүріп, 6 сағатта максималды 5.07 % жетті.

Полимер тізбегінің темір иондарымен максималды байланысу дәрежесі 48 сағаттан соң 2:4 қатынасында байқалып, 4.79 % құраған. КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінде полимерлердің 1:5 қатынасында темір иондарының сорылуы онша қарқынды емес, белгілі бір жағдайларда тұрақты болғанымен, бірақ кей кездері нәтижелердің өзгермелі болатынын көрсетеді. Темір иондарының сорбция процесі барлық қатынастарда уақыттың ағымына байланысты тұрақталып, максималды мәнге көтерілген.

3-кестеде уақыт бойынша полимер тізбегінің иондармен байланысу дәрежесінің жиынтығының молярлық қатынасына тәуелділігі көрсетілген. Интерполимерлік жүйеде тек бір ғана полимер КУ-2-8 болғанда тұрақты қасиетке ие болады, себебі байланысу дәрежесінде 6:0 қатынасында ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмайды. Интерполимерлік жүйеде тек бір ғана полимер КУ-2-8 болғанда тұрақты қасиетке ие болады, себебі байланысу дәрежесінде 6:0 қатынасында ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмайды. Ал 0:6 қатынасында (П4ВП) бастапқы уақытпен салыстырғанда 6 сағатта 2.50 % жетіп, тұрақталғаны байқалады.

Кесте 3 - КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимер тізбегінің алтын және темір иондарына қатысты байланысу дәрежесі

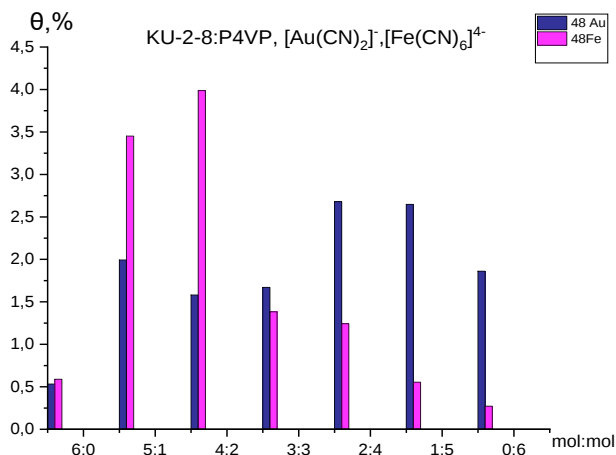
$\theta(\text{Au}^+, \text{Fe}^{2+})$, %							
КУ-2-8-П4ВП, моль:моль							
t, h	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	0.53	2.37	2.34	3.03	2.66	3.65	1.38
2.5	1.26	3.89	5.17	4.75	6.09	3.69	0.43
6	0.60	5.10	8.39	7.41	7.95	2.99	2.50
24	0.53	7.37	8.77	6.06	4.46	3.67	2.11
48	1.12	5.44	5.57	3.05	3.92	3.20	2.13

5:1 қатынасында байланысу дәрежесі 2.37 % -5.10 % дейін үдемелі өсіп, 24 сағатта 7.37 % құрады, алайда 48 сағатқа жеткенде 5.44 % күрт төмендеді. Кестеден, КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінің әртүрлі молярлық қатынастары бойынша алтын және темір иондарының сорбция процесіндегі байланысу дәрежесінің біршама өзгерістерге ұшырайтындығы байқалды. Жүйенің 4:2 қатынасында байланысу дәрежесі басқа уақытпен салыстырғанда 24 сағатта максималды мәнге жетіп, тиесінше 8.77 % құрады. Сонымен қатар, полимер тізбегінің 3:3 және 2:4 қатынастарында алтын және темір иондарымен байланысу дәрежесі 6 сағатта сәйкесінше 7.41 % және 7.95 % жетіп, жоғары тиімділік байқатты. Полимер тізбегінің 1:5 қатынасында байланысу дәрежесі ондай қарқынды жүрмегендігі байқалады.

Алтын және темір иондарының полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің өзгерістері диаграмма түрінде сипатталған.

КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимерлік тізбектің алтын және темір иондарының байланысу дәрежесі 1 суретте диаграмма түрінде

көрсетілген. Бастапқы полимер ретінде КУ-2-8 катиониті қолданылған жағдайда, 6:0 мольдік қатынаста жүргізілген тәжірбие барысында 48 сағат ішінде алтынның мөлшері шамамен 0.53 %, ал темірдің мөлшері 0.59 % құрады, бұл олардың иондарының полимерлік тізбекпен байланысу дәрежесінің өте төмен екенін көрсетті. 0:6 мольдік қатынаста П4ВП анионитінде жүргізілген 48 сағаттық сорбция процесі нәтижесінде алтын иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі 1.86 %, ал темір иондары үшін бұл мән 0.27 %. Аталған көрсеткіш алтын иондарының полимермен өзара әрекеттесу қабілетінің темір иондарына қарағанда басым екенін дәлелдейді. Интерполимерлік жүйенің алтын иондарының байланысу дәрежесі темір иондарымен салыстырғанда онша қарқынды емес, 5:1 және 4:2 қатынастарында темір иондарының байланысу дәрежесі максималды мәнді көрсеткен. Темір иондары үшін байланысу дәрежесі 3.45 %-тен 3.99 % дейін артса, алтын иондары үшін бұл көрсеткіш тек 1.58 %-тен 1.99 % дейін жетеді. Бұл интерполимерлік жүйеде темір иондарының белсенділігі мен полимер тізбегімен байланысу дәрежесінің жоғары екенін, ал алтын иондарының байланысу дәрежесінің салыстырмалы түрде әлсіз әрі тұрақты екенін айғақтайды.



Сурет. 1 КУ-2-8-П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимерлік тізбектің алтын және темір иондарының байланысу дәрежесінің молярлық қатынаса байланысты өзгеруі.

КУ-2-8-П4ВП интерполимер жүйесінің 3:3 қатынасында алтын және темір иондарының сорылуы аса жоғары емес, полимер тізбегімен байланысу дәрежесі сәйкесінше 1.67 % және 1.38 % құрайды. Мұндай нәтиже интерполимерлік жұптардағы иондардың қашықтықтан әрекеттесуі жағдайында иондану дәрежесінің жеткіліксіздігін көрсетеді. 2:4 қатынасында 48 сағат ішінде алтын иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі сәйкесінше 2.68 %, ал темір иондары үшін бұл

көрсеткіш 1.24 % болды. Жүйенің 1:5 қатынасында алтын иондарының полимер тізбегімен байланысу дәрежесі тиесінше 2.65 % құрап, барынша максималды мәнге жеткені байқалды. Алтын иондары үшін бұл көрсеткіш барлық уақыт бойынша салыстырмалы түрде тұрақты болып қалды.

4. Қорытынды

Зерттеу нәтижелері КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйесінің алтын және темір иондарының байланысу дәрежесі уақытқа және мольдік қатынасқа байланысты біршама өзгерістерін көрсетті. Жүйеде алтын және темір иондарының бір уақытта сорбция процесіне қатысуы нәтижесінде күрделі комплекстер түзіліп, полимер тізбегінің байланысу дәрежесі жоғары көрсеткіштерді байқатты. Полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің максималды мәндері 4:2 және 3:3 қатынастарында 6 және 24 сағат аралығында байқалды, сәйкесінше 8.39 % - 8.77 % құрады. Алтын иондарының полимер тізбектерімен байланысу дәрежесі темір иондарына қарағанда айтарлықтай жоғары болды. Бұл интерполимерлік жүйеде полимер тізбегімен өзара әрекеттесу белсенділігі жоғары екенін көрсетеді. Бастапқы әрекеттесу кезінде параметр мәні төмен болған, алайда уақыттың артуына байланысты байланысу дәрежесінің белсенділігі байқалды.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қоры арқылы және қаржыландыру бойынша No.IPH BR21882220 жобасымен қаржыландырылды.

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

ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ СВЯЗИ ПОЛИМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ИОНАМИ ЗОЛОТА И ЖЕЛЕЗА В ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЕ КУ-2-8-П4ВП

Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева²,
Х. Химэрсэн^{1,2}, Ю.В. Гразюлявичюс³*

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: g_gazinovna@mail.ru

Резюме. Введение. В данной работе представлена степень связывания полимерных цепей с ионами золота и железа на основе сшитых полиэлектролитных интерполимерных систем. В качестве объектов исследования были выбраны катионит КУ-2-8 и анионит П4ВП, которые используются в отечественном производстве. *Цель работы*- определение сорбционных свойств интерполимерной системы на основе катионита КУ-2-8 и анионита П4ВП, а также экспериментальное подтверждение степени связывания с ионами золота и железа. *Полученные результаты.* В ходе исследования в интерполимерной системе КУ-2-8-П4ВП была определена степень связывание полимерных цепей ионов золота (Au^+) и железа (Fe^{2+}) в зависимости от мольных соотношении и от времени. По сравнению с индивидуальным полимером КУ-2-8 (6:0), анионит П4ВП (0:6) показал значительно более высокую степень сорбции ионов золота, которая со временем стабилизировалась. Максимальная степень связывания ионов золота с полимерной цепью была зафиксирована через 6 часов в интерполимерной системе при соотношении (2:4) и составила 3.16 %. А степень связывания ионов железа, особенно при соотношении 4:2, достигла значительно более высокого уровня через 24 часа, составила 6.46 %. В результате дистанционного

взаимодействия были выявлены области изменения при соотношении 4:2, а через 24 часа степень связывания ионов золота и железа увеличилась на 8.77 %. Как видно из диаграммы, степень связывания ионов железа в интерполимерной системе выражена менее интенсивно по сравнению с ионами золота, и практически во всех случаях степень связывания ионов золота достигает максимальных значений. В интерполимерной системе КУ-2-8 – П4ВП в соотношении 1:5 степень связывания ионов золота с полимерной цепью в течение 24 часов составила 3.13%, а для ионов железа этот показатель составил 0.55%. *Вывод.* Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что в интерполимерной системе степень связывания ионов золота с полимерной цепью значительно выше, а степень связывания полимера с ионами железа относительно слабая и стабильная.

Ключевые слова: КУ-2-8, П4ВП, интерполимерная система, гидрогели, сорбция, десорбция, дистанционное взаимодействия, ионы золота, ионы железа, степень связи

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Кандидат химических наук, ассоц. профессор</i>
<i>Химэрсэн Хуангүл</i>	<i>PhD, научный сотрудник</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

Әдебиеттер тізімі

1. Kerr R.A. Is the world tottering on the precipice of peak gold? *Science*. **2012**, 335(6072), 1038–1039. DOI: 10.1126/science.335.6072.1038
2. Syed S. Recovery of gold from secondary sources—a review. *Hydrometallurgy*. **2012**, 115–116, 30–51. DOI: 10.1016/j.hydromet.2011.12.012
3. Fırlak M., Çubuk S., Yetimoğlu E.K., Kahraman M.V. Recovery of Au(III) ions by Au(III)-imprinted hydrogel. *Chem. Pap.* **2016**, 70(6). DOI: 10.1515/chempap-2016-0019
4. Yunden G., Gunchin B., Kano N., Kim H.J. Recovery of gold from aqueous solution containing Au(III) by Silicon Organic Polymer. *J. Chem. Chem. Eng.* **2017**, 11(1). DOI: 10.17265/1934-7375/2017.01.003
5. Xu W., Mo X., Zhou S., Zhang P., Xiong B., Liu Y., Huang Y., Li H., Tang K. Highly efficient and selective recovery of Au (III) by a new metal-organic polymer. *J. Hazard Mater.* **2019**, 380, 120844. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120844
6. Goc K., Kluczka J., Benke G., Malarz J., Pianowska K., Leszczyńska-Sejda K. Application of ion exchange for recovery of noble metals. *Minerals*. **2021**, 11(11), 1188. DOI: 10.3390/min11111188
7. Jin W., Zhang Y. Sustainable electrochemical extraction of metal resources from waste streams: From removal to recovery. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2020**, 8(12), 4693–4707. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b07007
8. Kuhar L.L., Breuer P.L., Haque N., Robinson D.J. Considerations and potential economic advantages for the in-situ recovery of gold from deep, hard-rock deposits. *Miner. Eng.* **2018**, 121, 14–22. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.02.026
9. Jumadilov T., Utesheva A., Grazulevicius J., Imangazy A. Selective Sorption of Cerium Ions from Uranium-Containing Solutions by Remotely Activated Ion Exchangers. *Polymers*. **2023**, 15, 816. DOI: 10.3390/polym15040816
10. Imangazy A., Jumadilov T., Khimersen K., Bayshibekov A. Enhanced sorption of europium and scandium ions from nitrate solutions by remotely activated Ion Exchangers. *Polymers*. **2023**, 15, 1194. DOI: 10.3390/polym15051194
11. Nazirov Z.Sh. Study of the possibility of regeneration of cation exchanger KU-2-8. *Universum: chem. biology: elect. Sci. J.* **2021**, 7(85). DOI: 10.32743/Uni Chem.2021.85.7.12057
12. Altshuler H.N., Ostapova E.V., Malyshenko N.V., Altshuler O.H. Sorption of nicotinic and isonicotinic acids by the strongly basic anion exchanger AB-17-8. *Russian Chem. Bul.*, **2017**, 66, 1854–1859. DOI: 10.1007/s11172-017-1957-7

References

1. Kerr R.A. Is the world tottering on the precipice of peak gold? *Science*. **2012**, 335(6072), 1038–1039. DOI: 10.1126/science.335.6072.1038
2. Syed S. Recovery of gold from secondary sources—a review. *Hydrometallurgy*. **2012**, 115–116, 30–51. . DOI: 10.1016/j.hydromet.2011.12.012
3. Fırlak M., Çubuk S., Yetimoğlu E.K., Kahraman M.V. Recovery of Au(III) ions by Au(III)-imprinted hydrogel. *Chem. Pap.* **2016**, 70(6). DOI: 10.1515/chempap-2016-0019
4. Yunden G., Gunchin B., Kano N., Kim H.J. Recovery of gold from aqueous solution containing Au(III) by Silicon Organic Polymer. *J. Chem. Chem. Eng.* **2017**, 11(1). DOI: 10.17265/1934-7375/2017.01.003
5. Xu W., Mo X., Zhou S., Zhang P., Xiong B., Liu Y., Huang Y., Li H., Tang K. Highly efficient and selective recovery of Au (III) by a new metal-organic polymer. *J. Hazard Mater.* **2019**, 380, 120844. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120844
6. Goc K., Kluczka J., Benke G., Malarz J., Pianowska K., Leszczyńska-Sejda K. Application of ion exchange for recovery of noble metals. *Minerals*. **2021**, 11(11), 1188. DOI: 10.3390/min11111188
7. Jin W., Zhang Y. Sustainable electrochemical extraction of metal resources from waste streams: From removal to recovery. *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2020**, 8(12), 4693–4707. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b07007
8. Kuhar L.L., Breuer P.L., Haque N., Robinson D.J. Considerations and potential economic advantages for the in-situ recovery of gold from deep, hard-rock deposits. *Miner. Eng.* **2018**, 121, 14–22. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.02.026
9. Jumadilov T., Utesheva A., Grazulevicius J., Imangazy A. Selective Sorption of Cerium Ions from Uranium-Containing Solutions by Remotely Activated Ion Exchangers. *Polymers*. **2023**, 15, 816. DOI: 10.3390/polym15040816
10. Imangazy A., Jumadilov T., Khimersen K., Bayshibekov A. Enhanced sorption of europium and scandium ions from nitrate solutions by remotely activated Ion Exchangers. *Polymers*. **2023**, 15, 1194. DOI: 10.3390/polym15051194
11. Nazirov Z.Sh. Study of the possibility of regeneration of cation exchanger KU-2-8. *Universum: chem. biology: elect. Sci. J.* **2021**, 7(85). DOI: 10.32743/Uni Chem.2021.85.7.12057
12. Altshuler H.N., Ostapova E.V., Malyshenko N.V., Altshuler O.H. Sorption of nicotinic and isonicotinic acids by the strongly basic anion exchanger AB-17-8. *Russian Chem. Bul.*, **2017**, 66, 1854–1859. DOI: 10.1007/s11172-017-1957-7