

FEATURES OF GOLD ION EXTRACTION BY THE INTERPOLYMER SYSTEM KU-2-8 AND POLY-4-VINYLPYRIDINA

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

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: g_gazinovna@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The demand for effective methods of extracting valuable components from waste solutions is increasing every year [1]. For example, the extraction of Au (III) from complex sources is associated with significant difficulties. In our study, we used interpolymer systems based on ion exchange resins KU-2-8 and poly-4-vinylpyridine, obtained from solutions containing gold ions. *The purpose.* Of the work is to study the sorption properties of industrial ion exchange resins KU-2-8 and P4VP with respect to gold ions. *The obtained results.* In the interpolymer systems KU-2-8- P4VP in the ratio of 5:1 after 48 hours, a decrease in the concentration of cations remaining in the solution is observed from 130 mg/l to 99 mg/l. The optimal amount of sorbed gold ions was recorded at the ion exchanger ratio of 2:4 and amounted to 45%. The maximum sorption values were maintained at the ratio of 5:1 throughout the entire interaction time (0.5; 1.5; 6; 24 and 48 hours). High values of the parameter were observed at the initial stage of the interaction of the interpolymer systems at 1.5 hours, the degree of sorption amounted to 135 mg/l, respectively. As a result of the interaction of polymers at ratios of 2:4 and 1:5, the degree of sorption increased several times. The degree of sorption after 48 hours of interaction at a ratio of 1:5 reached 41.57%. In the individual anion exchanger P4VP (0:6) it increased by 44.22%. The degree of sorption was 13.2% higher compared to individual interpolymer systems. The proposed mechanism of interaction of ion-exchange resins in an aqueous medium as an interpolymer system "KU-2-8- P4VP" (X:Y) was confirmed by Pearson's theory of hard and soft acids and bases (HSAB). *Conclusion.* The obtained results of the study showed that the activation of ion-exchange resins in the interpolymer pair leads to a significant increase in their sorption capacity. At the initial stage of interaction, it was proven that the concentration of gold ions remaining in the solution was higher compared to other ions. The processes of interaction of the interpolymer system KU-2-8-P4VP with gold ions had different values depending on time.

Keywords: interpolymer system, ion exchange resins, KU-2-8, P4VP, remote interaction, mutual activation, hydrogels, sorption, Au(III) ions, extraction degree.

Jumadilov Talkybek Kozhatayevich

*Doctor of Chemical Sciences, Professor;
E-mail: jumadilov@mail.ru*

Dyussebayeva 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*

Gražulevicius Juozas Vidas

Full professor; E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt

Citation: Jumadilov T.K., Dyussebaeva G.T., Mukataeva Zh.S., Gražulevicius J.V. Features of gold ion extraction by the interpolymer system KU-2-8 and poly-4-vinylpyridine. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 1(89), 98-108. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-1.2710-1185.10>

АЛТЫН ИОНДАРЫНЫҢ КУ-2-8 ЖӘНЕ ПОЛИ-4-ВИНИЛПИРИДИН ИНТЕРПОЛИМЕРЛІ ЖҮЙЕСІМЕН СОРЫЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2*}, Ж.С. Мукатаева², 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: g_gazinovna@mail.ru

Түйіндеме. *Kіріспе.* Қалдық ерітінділерден құнды компоненттерді алудың тиімді әдістеріне сұраныс жыл сайын артып келеді [1]. Мысалы, күрделі көздерден Au(III) алу айтарлықтай қиындықтар туғызады. Біздің зерттеуімізде құрамында алтын иондары бар ерітінділерден ионалмастырғыш шайырлар КУ-2-8 және поли-4-винилпиридин негізінде құрылған интерполимерлі жүйелер қолданылды. *Жұмыстың мақсаты.* Алтын иондарына қатысты КУ-2-8 және П4ВП өндірістік ионалмастырғыш шайырларының сору қасиеттерін зерттеу. *Алынған нәтижелер.* КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік жүйелерінің 5:1 қатынасында 48 сағаттан соң ерітіндіде қалған катиондардың мөлшері 130 мг/л ден 99 мг/л дейін төмендегенін байқаймыз. Алтын иондарының максималды сорылу мөлшері иониттердің 2:4 қатынасында тіркелді, сәйкесінше 45% жеткен. Сорбцияның максималды мәндері әрекеттесудің барлық уақытында (0,5; 1,5; 6; 24 және 48 сағатта) 5:1 қатынасында сақталған. Параметрдің жоғарғы көрсеткіштері 1.5 сағаттық әрекеттесу кезінде интерполимерлік жүйелердің алғашқы уақытында байқалған, сорбция дәрежесі сәйкесінше 135 мг/л жеткен. Полимерлердің өзара әрекеттесу нәтижесінде 2:4 және 1:5 қатынастарында бір тәуліктен соң сорбция дәрежесі біршама көтерілген. Интерполимердің 1:5 қатынасында сору дәрежесі 48 сағаттық әрекеттесуден кейін 41.57 % жеткен. Жеке анион алмастырғышта П4ВП (0:6) сорбция дәрежесінің мәні бастапқы уақытпен салыстырғанда 48 сағатта 44.22 % өскен. Сорбция дәрежесінің максималды мәндері осы қатынаста сақталған. Бұл қатынастағы сорбция дәрежесінің мәні жеке интерполимерлі жүйелердің сорбция дәрежесімен салыстырғанда 13.2 % жоғары екендігі анықталды. «КУ-2-8-П4ВП» (X:Y) интерполимер жүйесі ретінде сулы ортадағы ион алмастырғыш шайырлардың өзара әрекеттесуінің ұсынылған механизмі Пирсонның қатты және жұмсақ қышқылдар мен негіздер теориясымен (HSAB) расталды. *Қорытынды.* Алынған зерттеу нәтижелері бойынша интерполимер жұбындағы ионалмастырғыш шайырлардың өзара активтенуі олардың сорбциялық қабілетінің айтарлықтай жоғарлауына әкелетіндігін көрсетті. Әрекеттесудің алғашқы кезеңінде ерітіндіде қалған алтын иондарының концентрациясы басқа иондармен салыстырғанда жоғары болғандығын дәлелденді. КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік жүйенің алтын иондарымен әрекеттесу процестерінің уақытқа байланысты әр түрлі мәндерге ие болды.

Түйін сөздер: интерполимерлік жүйе, иониттер, КУ-2-8, П4ВП, қашықтан әрекеттесу, өзара активтену, гидрогельдер, сорбция, Au(III) иондары, сорбция дәрежесі.

<i>Джумадилов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Дюсембаева Гүлнұр Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

1. Кіріспе

Бүгінде дүне жүзінде оңай өндірілетін алтынға бай кеннің қоры жылдан- жылға азайып барады. Алтынға сұраныстың артуына байланысты алтын өндіруші компаниялар әртүрлі жаңа технологияларды қолдана отырып, төмен сұрыпты кендерді өндеуге мәжбүр [2-4]. Алтын – көп қолданылатын асыл метал. Алтын (Au) суда Au(III) аниондары түрінде жиі кездеседі [5-6]. Бүгінгі таңда алтын өндіру өнеркәсібі белсенді түрде дамып

келеді. Алтынға сұраныс зергерлік бұйымдар мен валюта сияқты дәстүрлі салаларда да, сондай-ақ нанотехнологиялар мен электроника сияқты дамып келе жатқан секторларда да алтын қорларының азаюына және оны тиімді қалпына келтіру мүмкіндігінің шектеулі болуына байланысты өсіп келеді [7]. Кейбір минералдардың құрамында ластаушы заттар бар, бұл алтынды алуды қиындатады және қымбатқа түседі. Дегенмен, кейбір кең орындарында аз мөлшерде алтын бар, бұл экономикалық өндіруді қиындатады. Мысалы, алтынды алу процесінде синтетикалық ионалмастырғыш материалдар мен көміртек адсорбенттер қолданылады [8]. Ион алмастырғыш шайырлар- құрамында қышқылдық немесе негізі функционалдық топтары бар және ерітінділердегі қарсы иондарды қайтымды алмасуға қабілетті үш өлшемді макрокеуекті құрлымы бар ерімейтін полимер [9]. Олардың бірегей қасиеттері ерітінділерден металды іріктеп алуға мүмкіндік береді, бұл оларды құрамында алтынды бар ерітінділерді байыту үшін тиімді сорбенттер болып табылады. Сорбенттердің металдарды алудағы ең үлкен тиімділігіне интерполимерлі жүйелерді құру арқылы қол жеткізілді [10-11]. Интерполимерлі жүйелер- бұл екі немесе одан да көп әр түрлі полимерлерді біріктіру арқылы жасалған материалдар. Тәжірбиеде өнеркәсіптік ионалмастырғыш шайырлар қолданылды: күшті қышқылдық катионалмастырғыш КУ-2-8 және әлсіз негіздік анионалмастырғыш поли-4-винилпиридин пайдаланылды, біздің зерттеулеріміз ион алмастырғыштардың сорбциялық қасиеттерін, атап айтқанда олардың бір-бірімен және $Au(III)$ иондарымен әрекеттесуін жан-жақты бағалауға бағытталған [12]. Бұл зерттеу күрделі жүйелерден маңызды компоненттерді қалпына келтіруді жақсарту үшін өте маңызды және асыл металдарды қалпына келтіру әдістерін жақсартуға үлес қосуға бағытталған.

2. Тәжірбиелік бөлім

Зерттеуге пайдаланылған материалдар:

Бұл зерттеуде біз негізі материалдар ретінде күшті қышқыл катионит КУ2-8 (H^+ формасы) (Новохим, Харьков, Украина) стирол саполимерін дивинилбензолмен сульфохлорлау арқылы алынған катионды ионалмастырғыш (түйіршектер өлшемі 0.3-1.25 мм болатын полиакрилат) және (2) поли-4-винилпиридин (P4VP) әлсіз негіздік анионалмастырғыш(Сигма-Олдрих, Сент-Луис, АҚШ) дивинилбензол сополимері (түйіршектер өлшемі 0.015 мм) қолдандық.

Пайдаланылған құрал-жабдықтар: Алтын иондарының концентрациясын анықтау үшін тұздар ерітінділерінің оптикалық тығыздығы (Jenway-6305) спектрофотометрінде (СК) анықталды.

Интерполимерлік жүйелердің сорбциялық қасиеттерін зерттеу:

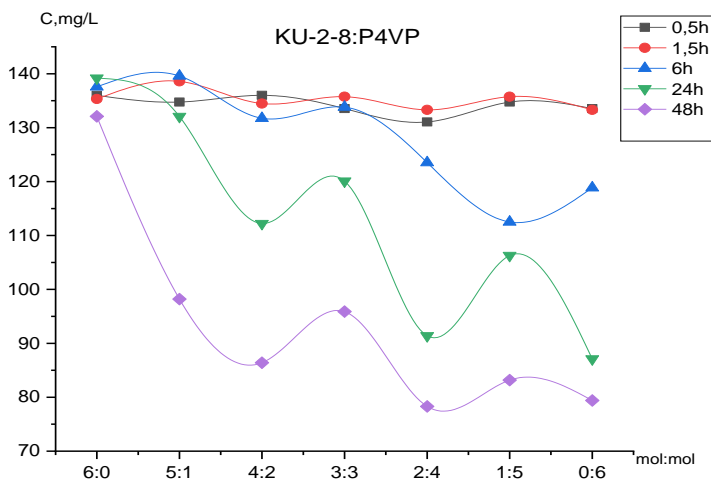
1) КУ-2-8 және П4ВП негізінде мольдік қатынастары әртүрлі интерполимерлі жүйелер құрылды;

2) Әрбір құрғақ полимерлі макромолекулалардың есептелген мөлшері арнайы полипропилен торларына салынды;

3) КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйелермен алтын иондарын сорбциялау 48 сағат бойы жүргізілді және алтын иондарының концентрациясын анықтау үшін аликвоттар алынды.

3. Нәтижелер және оларды талқылау.

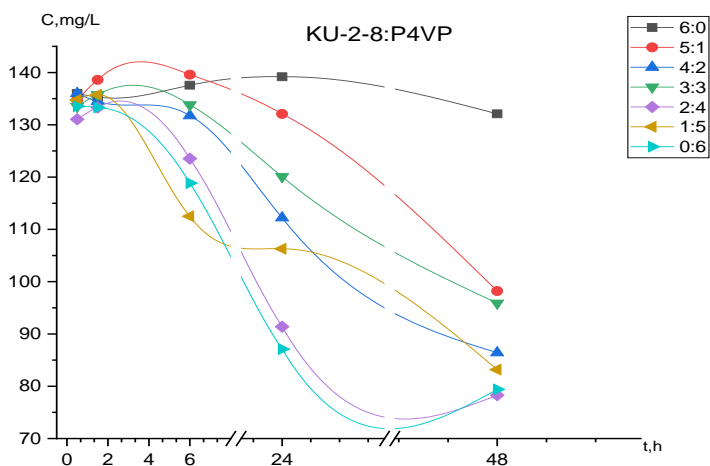
Полимер желісіндегі полимерлік тізбектер әртүрлі химиялық байланыстар немесе физикалық әсерлесулер арқылы қосылуы мүмкін [13]. Әрбір полимер тізбегіндегі байланыстардың орташа саны полимер тізбегінің байланысу дәрежесі (байланыстыру тығыздығы) ретінде белгілі. Жоғары мәндер көбінесе полимерлі материалдың механикалық қасиеттеріне (беріктік, қаттылық және серпімділік), сондай-ақ оның химиялық және термиялық тұрақтылығына әсер етуі мүмкін. Осыған дейін жүргізілген зерттеу нәтижелерінен функционалды полимерлердің өзара активтену құбылыстары металл иондарының сорбциялану процестерінде де байқалу керек деп болжауға болады. Бұл болжамды тексеру үшін алтын иондарына қатысты КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйелердің сорбциялық қасиеттеріне зерттеу жүргізілді. 1 және 2-суретте КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйелерінің сорбциясы кезінде алтын иондарының қалдық концентрацияларының мольдік қатынас (а) пен уақытқа (б) байланысты өзгерістері бейнеленген.



Сурет 1- КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің сорбциясынан кейін ерітіндідегі алтын иондарының қалдық концентрациясының молярлық қатынасқа (а) байланысты өзгеруі

1- суретте (а) Алтын иондарының қалдық концентрациясының сорылу процесі молярлық қатынасқа байланысты әр түрлі сипатқа ие болады. Жеке катионит КУ-2-8 (6:0) қатынасында алтын иондарының концентрациясы 48 сағатта максималды мәнге жеткен. КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік

жүйелерінің 5:1 қатынасында 48 сағаттан соң ерітіндіде қалған катиондардың мөлшері 130 мг/л ден 99 мг/л дейін төмендегенін байқаймыз. Қашықтықтан өзара әсер ету нәтижесінде сорбция процесінің 1,5 сағатында молярлық қатынастары 5:1, 4:2, 3:3, 2:4 және 1:5 интерполимерлік жүйелерде алтын иондарын сору процесі бір қалыпты жүргендігі байқалады. 2:4 қатынасында бір тәуліктен соң қалдық концентрацияның мәні 90 мг/л түскен. Алынған зерттеу нәтижелері бастапқы кезеңінде ерітіндіде қалған алтын иондарының концентрациясы жоғары болғандығын көрсетті. КУ-2-8-П4ВП интерполимерлік жүйенің алтын иондарымен әрекеттесу процестерінің уақытқа байланысты әр түрлі мәндерге ие болды.



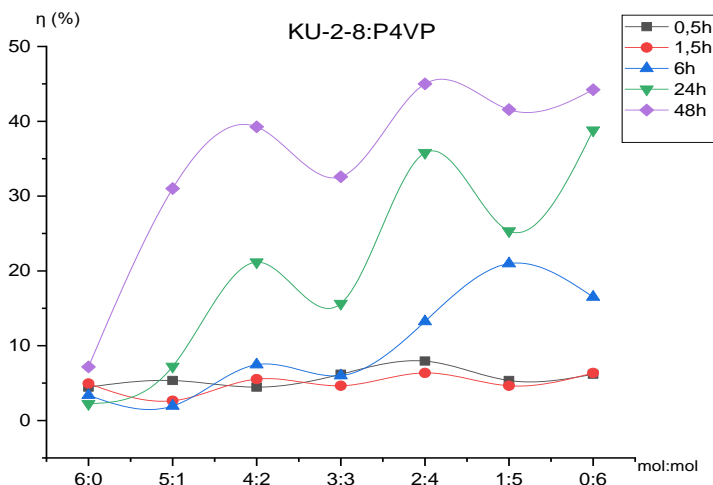
Сурет 2- КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің сорбциясынан кейін ерітіндідегі алтын иондарының қалдық концентрациясының уақытқа (б)байланысты өзгеруі

Суреттен 2 (б) байқағанымыздай сорбция процесінің алғашқы уақытында алтын иондарының концентрациясы айтарлықтай жоғары болған. Сорбцияның максималды мәндері әрекеттесудің барлық уақытында (0,5; 1,5; 6; 24 және 48) сағатта 5:1 қатынасында сақталған. Жеке ионалмастырғыш шайырлардың концентрациясы (0:6) бастапқы уақытқа қарағанда біршама төмендегені байқалады. Ал КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік жүйелердің 5:1, 4:2 және 3:3 қатынастарында сорбция бір деңгейде жүрген. Параметрдің максималді мәндері 1,5 сағаттық әрекеттесу кезінде интерполимерлік жүйелердің алғашқы уақытында сақталған, сорбция дәрежесі сәйкесінше 135 мг/л жеткен. 1:5 қатынасында әрекеттесудің алғашқы кезеңінде максимумға көтеріліп, уақыттың ағымына байланысты біртіндеп түскен. Жүйеде сору процесі полинегізге қарағанда полиқышқылда басым болғанда жоғары болатындығын көрсетеді. Алтын иондарының концентрациясы сорылу процесінің 48 сағаттан кейін

айтарлықтай төмендегенін байқаймыз. Жүргізілген зерттеу нәтижелерінен алтын иондарында қалдық концентрация уақыт өткен сайын төмендеген.

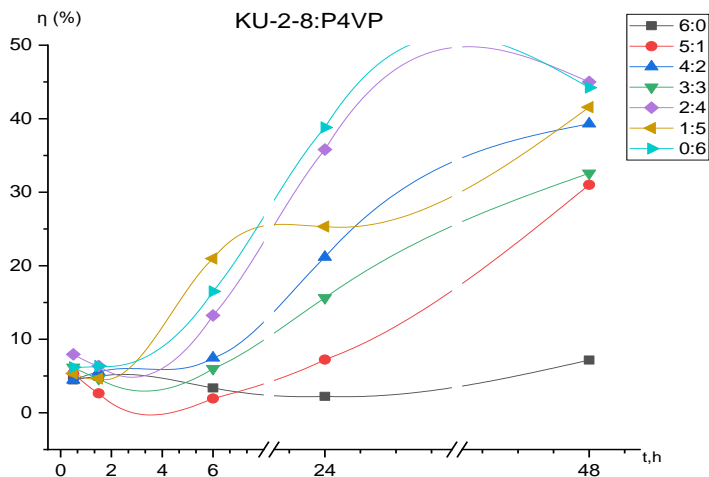
3 және 4-суретте КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің алтын иондарының молярлық қатынас (а) пен уақытқа (б) байланысты бөліп алу дәрежесінің өзгерістері сипатталған.

Бастапқы әрекеттесу кезінде 3 (а) параметр мәні төмен болған, бірақ одан кейінгі уақыттарды өсу қарқынды жүргендігі байқалады. Жүйеде тек бір ғана полимер катионит КУ-2-8 (H^+) болғанда тұрақты қасиетке ие болады, өйткені сорбция дәрежесінде 6:0 қатынасында ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмайды. КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің 5:1 қатынасында алтын иондарының сору дәрежесі жеке полимермен салыстырғанда жоғарғы мәнге ие болған. Әрекеттесудің 48 сағатында интерполимер жүйесінде 4:2 қатынасында максималды сорбция мәндері тіркелген, сәйкесінше 35.81% құрады.



Сурет 3- КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйесінің алтын иондарына қатысты сору дәрежесінің молярлық қатынасқа (а) тәуелділігі

Әрекеттесудің 1,5 сағатында КУ-2-8- П4ВП интерполимерлік жүйесіндегі сору дәрежесі бірқалыпты деңгейде жүргендігі көрінеді. Тәжірбиенің 6-шы сағатында сорбция дәрежесінде елеулі өзгерістер байқалмайды, тек 6 сағаттан кейін сору дәрежесі 1:5 қатынасында күрт өскен. Полимерлердің өзара әрекеттесу нәтижесінде 2:4 және 1:5 қатынастарында бір тәуліктен соң сорбция дәрежесі біршама көтерілген. Сондай-ақ параметрдің максималды мәндері 2:4 қатынасында сақталған, сәйкесінше 45% жеткен.



Сурет 4- КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйесінің алтын иондарына қатысты сору дәрежесінің уақытқа (б) тәуелділігі

Алтын иондарының сорбция дәрежесінің максималды мәндері иониттердің 1:5 қатынасында да байқалады. Интерполимердің 1:5 қатынасында сору дәрежесі 48 сағаттық әрекеттесуден кейін 41.57 % жеткен. Параметрлердің максималды көрсеткіштері 24 және 48 сағаттық әрекеттесу кезінде КУ-2-8:П4ВП интерполимерлі жүйелердің 2:4 және 1:5 қатынастарында байқалды, сорбция дәрежесі сәйкесінше 41.57%; 45% құрады. Интерполимер жүйесінің алтын иондарын сору дәрежесінің уақытқа қатысты 4 (б) суретте өзгерістері полимерлердің барлық қатынастарында максимум және минимум мәндері арқылы сипатталады. Суреттен зерттеудің алғашқы уақытында ерітіндіде қалған сору дәрежесінің мөлшері айтарлықтай өзгермейтіндігі байқалады. Интерполимерлі жүйелердің әртүрлі уақыт аймақтарында (0,5; 1;5; 6; 24; және 48) сору дәрежесі 3:3 қатынасында біртіндеп жоғарлағанын байқаймыз. Әрекеттесудің 48 сағатында сорбция 1:5 және 0:6 қатынастарында баяу көтерілген. Суретте (алтын иондарына қатысты) сорбция дәрежесінің ең жоғарғы көрсеткіштері барлық уақыт аралықтарында 0:6 қатынасында сақталған. Ал жеке анион алмастырғышта П4ВП (0:6) сорбция дәрежесінің мәні бастапқы уақытпен салыстырғанда 48 сағатта 44.22 % өскен. Сорбция дәрежесінің максималды мәндері осы қатынаста сақталған. Бұл қатынастағы сорбция дәрежесінің мәні жеке интерполимерлі жүйелердің сорбция дәрежесімен салыстырғанда 13.2 % жоғары екендігі анықталды. Алынған зерттеу нәтижелері сорбция дәрежесінің уақыт өткен сайын арта түсетінін көрсетеді.

1-кестеде КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесіндегі полимер тізбегінің алтын иондарымен байланысу дәрежесінің молярлық қатынас пен уақытқа

байланысты өзгерісі бейнеленген. Жеке КУ-2-8 (катион алмастырғыш) болғанда полимер тізбегінің байланысу дәрежесі (6:0) қатынасында тұрақты мәнге ие болады, өйткені осы қатынаста ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмайды, бұл ерітіндіде тек бір полимер түрі болғанда екінші полимердің болмауы ерітіндінің жоғары зарядталған дәрежеге жетуіне мүмкіндік бермейді. КУ-2-8:П4ВП жүйесінің барлық уақыт аралықтарында байланысу дәрежесі біртіндеп уақыттың өтуіне байланысты жоғарылаған. Суреттен байқағанымыздай, КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің 4:2 қатынасында алтын иондарының сорылуы алғашқы уақытпен салыстырғанда айтарлықтай көтерілген.

Кесте 1 - КУ-2-8- П4ВП интерполимерлі жүйесінің полимерлік тізбектің алтын иондарымен байланысу дәрежесі

$\theta (Au^+)$, %							
КУ-2-8- П4ВП, мол:моль							
t, h	6:0	5:1	4:2	3:3	2:4	1:5	0:6
0.5	9.61	11.69	9.87	13.72	17.22	11.69	13.51
1.5	10.79	5.87	12.35	10.21	13.69	10.31	13.78
6	7.36	4.34	16.63	13.23	28.88	46.76	36.06
24	4.87	16.06	47.22	34.45	77.95	56.31	84.85
48	15.69	68.92	87.65	71.65	98.18	92.31	96.66

Әрекеттесудің 24 сағат пен 48 сағатта 5:1, 4:2 және 2:4 қатынастарында сорбция дәрежесі біршама көтерілгенін байқаймыз, сәйкесінше 68.92%, 87.65% және 98.18 % құрады. Полимерлердің 5:1 қатынасында алтын иондарының сорылуы 24 сағатта онша қарқынды жүрмеген, байланысу дәрежесі 16.06 %. Полимер тізбегінің максималды байланысу дәрежесі 48 сағаттан кейін КУ-2-8:П4ВП интерполимер жүйесінің 1:5 қатынасында 92,31% көрсеткен. Суреттен әрекеттесудің бастапқы уақыттарында алтын иондарымен байланысу дәрежесі ондай қарқынды жүрмегендігі байқалады. КУ-2-8- П4ВП интерполимер жүйесінің 2:4 қатынасында полимер тізбегінің максималды байланысу дәрежесі байқалған, сәйкесінше 98,18% құрады. 4:2 қатынасында 1.5 сағатта 10.31 % болса, уақыттың өтуіне байланысты 48 сағатқа жеткенде 87.65 % жеткен. Зерттеудің 24 сағатында полимерлердің қашықтықтан бір-біріне әсер етуі нәтижесінде байланысу дәрежесінің өзгеріс аймақтары тіркелген. Катионит КУ-2-8 (6:0) және анионит (0:6) ионалмастырғыштардың полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің мәндері 48 сағаттан кейін салыстырмалы түрде жоғары болған, сәйкесінше 15.69 % және 96.66 % көрсеткен. Полимер тізбегінің байланысу дәрежесінің жоғарғы көрсеткіштері 48 сағаттардан кейін 3:3 қатынасында 71.65 % көрсеткен.

4. Қорытынды

Алынған зерттеу нәтижелері бойынша интерполимер жұбындағы ионалмастырғыш шайрлардың өзара активтенуі олардың сорбциялық қабілетінің айтарлықтай жоғарлауына әкелетіндігін көрсетті. Әрекеттесудің алғашқы кезеңінде ерітіндіде қалған алтын иондарының концентрациясы басқа иондармен салыстырғанда жоғары болғандығын дәлелденді. КУ-2-8-П4ВП интерполимерлік жүйенің алтын иондарымен әрекеттесу процестерінің уақытқа байланысты әр түрлі мәндерге ие болды. Сондай-ақ, сорбция дәрежесінің максималды мәні интерполимер жүйесінің 2:4 молярлық қатынасында байқалатындығы айқындалды. Осы саладағы әрі қарайғы зерттеулер мен әзірлемелер алтын өндіру өнеркісібінің тұрақты дамуы мен инновациялық өсуіне ықпал ете отырып, алтын өндіруде жаңа мүмкіндіктерді ашуы мүмкін.

Қаржыландыру: Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қоры арқылы және қаржыландыру бойынша No.ИРН BR27101179 жобасымен қаржыландырылды.

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

ОСОБЕННОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ЗОЛОТА ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ КУ-2-8 И ПОЛИ-4-ВИНИЛПИРИДИНА

Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева², 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: g_gazinovna@mail.ru

Резюме. Введение. Спрос на эффективные методы извлечения ценных компонентов из отходящих растворов ежегодно увеличивается [1]. Например, извлечение Au (III) из сложных источников сопряжено с значительными трудностями. В нашем исследовании использовались интерполимерные системы, созданные на основе ионообменных смол КУ-2-8 и поли-4-винилпиридина, полученные из растворов, содержащих ионы золота. *Цель работы* - исследование сорбционных свойств промышленных ионообменных смол КУ-2-8 и П4ВП относительно ионов золота. *Полученные результаты.* В интерполимерных системах КУ-2-8- П4ВП в соотношении 5:1 спустя 48 часов наблюдается снижение концентрации оставшихся в растворе катионов с 130 мг/л до 99 мг/л. Оптимальное количество сорбированных ионов золота было зафиксировано при соотношении ионитов 2:4 и составило 45%. Максимальные значения сорбции сохранились при соотношении 5:1 на протяжении всего времени взаимодействия (0,5; 1,5; 6; 24 и 48 часов). Высокие значения параметра наблюдались на начальной стадии взаимодействия интерполимерных систем при 1,5 часах, степень сорбции составила соответственно 135 мг/л. В результате взаимодействия полимеров при соотношениях 2:4 и 1:5 степень сорбции несколько раз увеличилась. Степень сорбции после 48 часов взаимодействия при соотношении 1:5 достигла 41,57%. В индивидуальном анионите П4ВП (0:6) увеличилось на 44,22%. Значение степени сорбции было на 13,2% выше по сравнению индивидуальных интерполимерных систем. Предложенный механизм взаимодействия ионообменных смол в водной среде как интерполимерной системы "КУ-2-8- П4ВП" (X:Y) был подтвержден теорией твердых и мягких кислот и оснований (HSAB) Пирсона. *Вывод.* Полученные результаты исследования показали, что активация ионообменных смол в интерполимерной паре приводит к значительному повышению их сорбционной способности. На начальной стадии взаимодействия было доказано, что концентрация

оставшихся в растворе ионов золота была выше по сравнению с другими ионами. Процессы взаимодействия интерполимерной системы КУ-2-8-П4ВП с ионами золота имели различные значения в зависимости от времени.

Ключевые слова: интерполимерная система, иониты, КУ-2-8, П4ВП, дистанционное взаимодействие, взаимная активация, гидрогели, степень сорбции, ионы Au (III), степень сорбции

<i>Джумадиллов Талқыбек Қожатаевич</i>	<i>Доктор химических наук, профессор</i>
<i>Дюсембаева Гүлнур Токтаргазиновна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Мукатаева Жазира Сағатбековна</i>	<i>Кандидат химических наук, ассоц. профессор</i>
<i>Гражулявичюс Юозас Видас</i>	<i>Профессор</i>

Әдебиеттер тізімі

1. Shyam Sunder G.S., Adhikari S., Rohanifar A., Poudel A., Kirchhoff J.R. Evolution of environmentally friendly strategies for Metal Extraction. *Separations*. **2020**, 7(1), 4. DOI: [10.3390/separations7010004](https://doi.org/10.3390/separations7010004)
2. Perez J.P., Folens K., Leus K., Vanhaecke F., Van Der Voort P., Du Laing G. Progress in hydrometallurgical technologies to recover critical raw materials and precious metals from low-concentrated streams. *Resour. Conserv. Recycl.* **2019**, 142, 177–188. DOI: [10.1016/j.resconrec.2018.11.029](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.029)
3. Dodson J.R., Parker H.L., Muñoz García A., Hicken A., Asemave K., Farmer T.J., He H., Clark J.H., Hunt A.J. Bio-derived materials as a green route for Precious Critical Metal Recovery and re-use. *Green Chem.* **2015**, 17(4), 1951–1965. DOI: [10.1039/c4gc02483d](https://doi.org/10.1039/c4gc02483d)
4. 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](https://doi.org/10.1126/science.335.6072.1038)
5. Yoshimura A., Takatori K., Matsuno Y. Environmentally sound recovery of gold from Waste Electrical and electronic equipment using organic aqua regia. *Int. J. Autom. Technol.* **2020**, 14(6), 999–1004. DOI: [10.20965/ijat.2020.p0999](https://doi.org/10.20965/ijat.2020.p0999)
6. Sun Z., Xiao Y., Sietsma J., Agterhuis H., Yang Y.A. Cleaner process for selective recovery of valuable metals from electronic waste of complex mixtures of end-of-life electronic products. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, 49(13), 7981–7988. DOI: [10.1021/acs.est.5b01023](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01023)
7. Chakraborty S.C., Zaman Md.W., Hoque M., Qamruzzaman Md., Zaman J.U., Hossain D., Pramanik B.K., Nguyen L.N., Nghiem L.D., Mofijur Md., Mondal Md.I., Sithi J.A., Shahriar S.M., Johir Md.A., Ahmed M.B. Metals extraction processes from electronic waste: Constraints and opportunities. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 29(22), 32651–32669. DOI: [10.1007/s11356-022-19322-8](https://doi.org/10.1007/s11356-022-19322-8)
8. 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](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07007)
9. 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**, DOI: [10.1007/978-981-15-7138-1_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13)
10. Jumadilov T.K., Malimbayeva Z.B., Khimersen Kh., Saparbekova I.S., Imangazy A.M., Suberlyak O.V. Specific features of praseodymium extraction by intergel system based on polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels. *Bull. of the Karaganda Univ. Chem. Series*. **2021**, 103(3), 53–59. DOI: [10.31489/2021ch3/53-59](https://doi.org/10.31489/2021ch3/53-59)
11. 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](https://doi.org/10.3390/polym15040816)
12. 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](https://doi.org/10.3390/polym15051194)
13. Moustafine R.I., Zaharov I.M., Kemenova V.A. Physicochemical characterization and drug release properties of Eudragit (R) E PO/Eudragit (R) L 100-55 interpolyelectrolyte complexes. *Eur J Pharm Biopharm.* **2006**, 63(1), 26-36. DOI: [10.1016/j.ejpb.2005.10.005](https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2005.10.005)

References

1. Shyam Sunder G.S., Adhikari S., Rohanifar A., Poudel A., Kirchhoff J.R. Evolution of environmentally friendly strategies for Metal Extraction. *Separations*. **2020**, 7(1), 4. DOI: [10.3390/separations7010004](https://doi.org/10.3390/separations7010004)
2. Perez J.P., Folems K., Leus K., Vanhaecke F., Van Der Voort P., Du Laing G. Progress in hydrometallurgical technologies to recover critical raw materials and precious metals from low-concentrated streams. *Resour. Conserv. Recycl.* **2019**, 142, 177–188. DOI: [10.1016/j.resconrec.2018.11.029](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.029)
3. Dodson J.R., Parker H.L., Muñoz García A., Hicken A., Asemave K., Farmer T.J., He H., Clark J.H., Hunt A.J. Bio-derived materials as a green route for Precious Critical Metal Recovery and re-use. *Green Chem.* **2015**, 17(4), 1951–1965. DOI: [10.1039/c4gc02483d](https://doi.org/10.1039/c4gc02483d)
4. 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](https://doi.org/10.1126/science.335.6072.1038)
5. Yoshimura A., Takatori K., Matsuno Y. Environmentally sound recovery of gold from Waste Electrical and electronic equipment using organic aqua regia. *Int. J. Autom. Technol.* **2020**, 14(6), 999–1004. DOI: [10.20965/ijat.2020.p0999](https://doi.org/10.20965/ijat.2020.p0999)
6. Sun Z., Xiao Y., Sietsma J., Agterhuis H., Yang Y.A. Cleaner process for selective recovery of valuable metals from electronic waste of complex mixtures of end-of-life electronic products. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, 49(13), 7981–7988. DOI: [10.1021/acs.est.5b01023](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01023)
7. Chakraborty S.C., Zaman Md.W., Hoque M., Qamruzzaman Md., Zaman J.U., Hossain D., Pramanik B.K., Nguyen L.N., Nghiem L.D., Mofijur Md., Mondal Md.I., Sithi J.A., Shahriar S.M., Johir Md.A., Ahmed M.B. Metals extraction processes from electronic waste: Constraints and opportunities. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 29(22), 32651–32669. DOI: [10.1007/s11356-022-19322-8](https://doi.org/10.1007/s11356-022-19322-8)
8. 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](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07007)
9. 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**, DOI: [10.1007/978-981-15-7138-1_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7138-1_13)
10. Jumadilov T.K., Malimbayeva Z.B., Khimersen Kh., Saparbekova I.S., Imangazy A.M., Suberlyak O.V. Specific features of praseodymium extraction by intergel system based on polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels. *Bull. of the Karaganda Univ. Chem. Series*. **2021**, 103(3), 53–59. DOI: [10.31489/2021ch3/53-59](https://doi.org/10.31489/2021ch3/53-59)
11. 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](https://doi.org/10.3390/polym15040816)
12. 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](https://doi.org/10.3390/polym15051194)
13. Moustafine R.I., Zaharov I.M., Kemenova V.A. Physicochemical characterization and drug release properties of Eudragit (R) E PO/ Eudragit (R) L 100-55 interpolyelectrolyte complexes. *Eur J Pharm Biopharm.* **2006**, 63(1), 26-36. DOI: [10.1016/j.ejpb.2005.10.005](https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2005.10.005)