

NEW POLYMERIC SORBENTS WITH THIA CROWN-ETHER GROUPS

M.K. Kurmanaliev¹, N.A. Bektenov², K.A. Sadykov², K.Zh. Bazarbaeva³

¹JSC Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²JSC Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan

³NJSC "L.N. Gumilyov Eurasian National University", Astana, Kazakhstan

*E-mail: bektenbna@gmail.com

Abstract: *Introduction.* The selectivity of compounds depends on the structure of the ligands in the molecule, the presence of functional groups and donor atoms in it. It is known that the high selectivity of the reagents depends not only on the nature of the donor atoms in the ring, but also on the stability of the ring structure. The preparation of polymers containing a thiacyclic crown ether group is an urgent task, since such groups make it possible to obtain selective sorbents. *The purpose of the work:* is the synthesis of new selective sorbents containing a thiacyclic crown ether group and the study of their complexing properties with respect to silver ions. *Results and discussions:* To obtain polymers for this purpose, the reaction of the interaction of a gel and a porous copolymer of chloromethylated styrene and divinylbenzene with aminobenzothiacrown ethers was studied. Using various influencing factors, it was possible to obtain sorbents with a high exchange capacity (2.5 mmol/g). When studying the sorption of silver(I) ions from aqueous solutions by a supramolecular sorbent with a thiacyclic crown ether group, it was shown that the optimal pH value is 6, the contact time is 60 min. The maximum sorption capacity of the sorbent for silver (I) ions reaches 240.8 mg/g. *Conclusion:* Thus, the ability of the proposed polymer sorbents to complexation depends on the ratio of reagents, the nature of the silver-containing reagent, the size of the macrocycle and the density of the ligand, which is determined by the amount of sulfur in thiacyclic crown esters.

Keywords: thiacyclic crown ether, sorption capacity, copolymer of styrene and divinylbenzene, silver ions.

<i>Kurmanaliev Musrepbek Kurmanalievich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: mkk@mail.ru</i>
<i>Nesiphan Abzhaparovich Bektenov</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: bektenbna@gmail.com</i>
<i>Kanat Amirkulovich Sadykov</i>	<i>Master of Chemistry, e-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru</i>
<i>Bazarbaeva Karlygash Zhaksybekovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, e-mail: Karlygash.ba@mail.ru</i>

Citation: Kurmanaliev M.K., Bektenov N.A., Sadykov K.A., Bazarbaeva K.Zh. New polymeric sorbents with thiacyclic crown-ether groups. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 1(85), 67-76. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-1.2710-1185.07>

ТИАКРАУН-ЭФИР ТОБЫ БАР ЖАҢА ПОЛИМЕРЛІК СОРБЕНТТЕР

М.Қ.Құрманалиев¹, Н.А.Бектенов², Қ.А. Садықов², Қ.Ж.Базарбаева³

¹ Алматы технологиялық университеті АҚ, Алматы, Қазақстан

² «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

³ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

*E-mail: bektenbna@gmail.com

Түйіндеме. Кіріспе. Краун-эфирлі қосылыстардың металл иондарымен талғамды әрекеттесу қабілеті, олардың практикада кеңінен қолданылуының негізі болып табылады. Қосылыстардың селективтілік қасиеттері молекула құрамындағы лигандтардың құрылысына, ондағы функционалды топтар мен донорлы атомдардың болуына тікелей байланысты болады. Реагенттердің жоғары талғамды қасиеттерінің болуы, циклдегі донорлы атомдардың табиғатына ғана емес, сол цикл құрылымының тұрақтылығына да тәуелді болатыны белгілі. Құрамында тиакраун тобы бар полимерлер алу өзекті мәселе болып табылады. Өйткені ондай топтар селективтілік қасиеттері жоғары талғампаз сорбенттер алуға мүмкіндік береді. Жұмыстың мақсаты – құрамында тиакраун – эфир тобы бар жаңа селективті ионалмастырғыш сорбенттер синтездеп алу және олардың күміс иондарына қатысты комплекс түзу қасиеттерін зерттеу болып табылады. *Нәтижелер мен талқылаулар:* Жоғарыда аталған Осындай мақсаттағы полимерлер алу үшін гелді және кеуекті хлорметилденген стирол және дивинилбензол сополимері (ХМС) мен аминобензотиакраун-эфирлердің әрекеттесу реакциясы зерттелді. Әсер ететін әртүрлі факторларды қолдана отырып, ионалмасу сыйымдылығы жоғары (2.5 ммоль/г) сорбенттер алуға қол жеткіздік. Сулы ерітінділерден тиакраун-эфир тобы бар супрамолекулалық сорбентпен күміс (I) иондарының сорбциялануын зерттеу үшін оңтайлы ерітіндінің рН ортасының мәні 6 болатынын көрсетті. Ерітінді мен сорбенттің жанасу уақыты 60 минут болғанда күміс (I) иондарына қатысты сорбенттің максималды сорбциялық қабілеті 240.8 мг/г жетеді. *Қорытынды:* Сонымен, ұсынылып отырылған полимерлі сорбенттердің комплекс түзу қабілеті реагенттердің қатынасына, құрамында күмісі бар реагенттің табиғатына, макроцикл өлшеміне және тиакраун-эфирлердегі күкірт санымен анықталатын лигандтың дентанттылығына байланысты болады. Максималды сорбциялық қабілеттілікке 15-мүшелі краун-эфирін қолданған жағдайда қол жеткізілді.

Түйін сөздер: тиакраун-эфир, сорбциялық сыйымдылық, стирол және дивинилбензол сополимері, күміс иондары.

Құрманалиев Мүсірбек Құрманәліұлы химия ғылымдарының докторы, профессор

Несіпхан Әбжапарұлы Бектенов химия ғылымдарының докторы, профессор

Қанат Әмірқұллы Садықов ғылыми қызметкер, оқытушы

Базарбаева Қарлығаш Жақысбекқызы химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы

1. Кіріспе

Соңғы он жылдықтардағы жетістіктердің бірі синтетикалық макроциклді қосылыстар (краун-эфирлер және криптантар) мен олардың ациклді аналогтарын (поданттар) катион, анион және бейтарап төменгі молекулалы заттарға комплекстүзгіш ретінде қолдану, ғылыми және практикалық тұрғыдан зор қызығушылық туғызуда. Краун-эфирлер синтезінде «хозяин-гость», эфирлер синтезі супрамолекулалық химияның пайда болуына алып келді. Қазіргі таңда көптеген жаңа макроциклді қосылыстар синтезделіп, олардың қолдану аясы да күрт артып отыр [1-3]. Құрамында макроциклді қосылыстар және олардың ашық тізбекті

аналогтары бар полимерлі сорбенттерді бөлу және алдын ала концентрациялау үшін пайдалану бірқатар себептер бойынша экстракцияға қарағанда кейбір жағдайларда қолайлырақ, біріншіден, оларды өңдеу және қайта пайдалану үшін қалпына келтіру оңайырақ, екіншіден, құрамында крауны бар сорбенттер мономерлік аналогтарына қарағанда арзанырақ және улылығы аз, үшіншіден, талданатын затты мономерлі макроциклді қосылыстармен экстракциялаудың тиімділігі кейбір жағдайларда олардың суда жартылай ерігіштігіне байланысты төмендейді [4-6]. Ауыр және өтпелі металл иондарымен тұрақты комплекс түзуді қамтамасыз ететін оттегіден басқа макроциклдердегі гетероатомдардың ішінде атомы оттегінің электронды аналогы болып табылатын күкірттің маңызы зор. Екінші жағынан, молекула сақинасының құрамында осындай гетероатомдардың болуы, макроциклдегі донор-атомдары мен металл атомдарының және жұмсақ қышқыл мен негіздердің сәйкестіктерін қамтамасыз етеді (Пирсон концепциясы) [7-9].

Дей тұрғанмен, сақина құрамында күкірт атомдары бар краун-эфирлі полимерлер әлі де толық зерттелмеген. Осыған байланысты соңғы жылдарда жаңа температураға сезімтал құрамында N- изопропилакриламиді бар циклдік моноаза-тетратиа-краун эфирдің сополимерлерімен, 13-19-мүшелі тиа-краун эфирлері бар су ерітінділерінен Ag^+ иондарын жоғары селективті сорбция зерттелуде, краун эфирлердің негізінде кинетикасы, тұрақтылығы, селективтілігі және Au^{3+} иондарының адсорбциясы жоғары көрсеткіштерімен полимерлер синтезделген және басқа да осыған ұқсас зерттеулер жалғасуда [10-12].

2. Тәжірибелік бөлім

Құрамында 18.2% хлор бар стирол мен дивинилбензолдың (ХМС. 8% дивинилбензол) гелді және макрокеуекті хлорметилденген сополимерлері қолданылды.

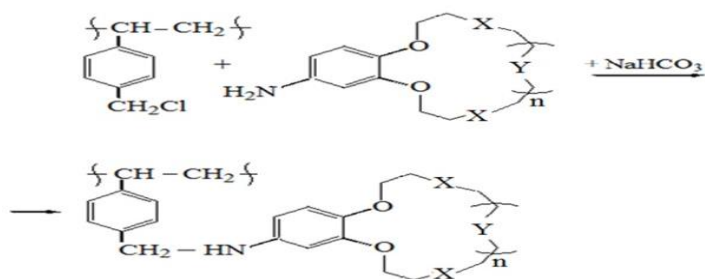
Сорбциялық сымдылығы мен білгілі бір дәрежеде ісінетін, шығымы жоғары полимерлерді алу үшін, кері тоңазытқыш, термометр және механикалық араластырғышпен жабдықталған үш ұңғылы шыны колбаға, сары түсті хлорметилденген стирол және дивинилбензол сополимерін (20 г) салып, үстіне диметилформаид (10-15 мл) құйып, осы полимер ісінгенше араластырылды. Бір сөткеден кейін полимер ісінгеннен соң колбаға аминобензо-5, 11-дитиа-15-краун-5 қосылысы салынды. Колбадағы осы қоспаны 90°C температурада, 6-8 сағат жоғары жылдамдықта араластырылды. Реакция өнімі бөлме температурасына дейін салқындатылып, фильтрленіп, дистилденген сумен жуылып, алынған поликраун-эфирлі қосылыс тұрақты массаға дейін кептірілді.

Өртүрлі концентрациядағы ерітінділерді дайындау үшін химиялық таза сортты күміс нитраты $AgNO_3$ қолданылды. Күміс нитратының ерітінділерінен сұйылту арқылы 0.1-ден 2.0 мг/мл күміске дейінгі белгілі бір концентрациядағы Ag^+ катиондарының үлгілік ерітінділері дайындалды.

Ерітінділерден Ag^+ иондарының адсорбциясы бөлме температурасында статикалық режимде жүргізілді [12]. Ол үшін 1 г адсорбент алынып, 0.1-2.0 мг/мл күмістен 50 мл белгілі концентрациядағы күміс ерітіндісі қосылды. Ерітінділер берілген температурада тепе-теңдікті орнату үшін бір тәулікке қалдырылды. Осы уақыт ішінде ерітінді мен сорбент арасында күміс иондарының сорбенттердегі алмасу процестері және сорбциясы жүреді. 0.5, 1, 2 және 24 сағаттан кейін ерітінділердегі күмістің тепе-теңдік концентрациясы анықталды. Ерітінділердегі Ag^+ иондарының концентрациясын атом-адсорбциялық (30-35В, Perkin Elmer, USA) өдіспен анықталды. ИҚ-спектрлері КВг таблеткаларында Vector-22 Фурье-спектрометрінде жазылған.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Полимерлі краун-эфирлерді синтездеу саласындағы кеңінен қолданылатын әдіс, ол тасымалдағыш полимерлерге макроциклді төменгі молекулалы қосылыстарды иммобилизациялау. Осындай мақсаттағы полимерлер алу үшін гелді және кеуекті хлорметилденген стирол және дивинилбензол сополимері (ХМС) мен аминобензо-5, 11-дитиа-15-краун-5 (АБДТ15К5) макроциклді қосылысының әрекеттесу реакциясы зерттелді:



Краун-эфирлі функционалды топтармен иммобилизацияланған полимерлердің қасиеттері, негізінен полимерлердің құрамындағы осы функционалды топтардың қаншалықты енгізілгеніне, яғни мөлшеріне байланысты болады. ХМС сополимерінің краун-эфирлі функционалды топтармен иммобилизациялану дәрежесі бірнеше факторларға байланысты болады. Ол факторлардың негізгілері: мономерлердің тазалығы мен қатынастары, ерітіндінің концентрациясы, температура мен реакцияны жүргізу уақыты және еріткіштің табиғаты. Жүргізілген реакция нәтижелері кестеде келтірілген (кесте). Әсер ететін әртүрлі факторларды қолдана отырып, алмасу сыйымдылығы жоғары сорбенттер алуға қол жеткіздік. Айта кететін бір жайт, ол тиакраун эфири тобы бар алынған сорбенттер сілтілік және сілтілік-жер металдарды сорбцияламайды.

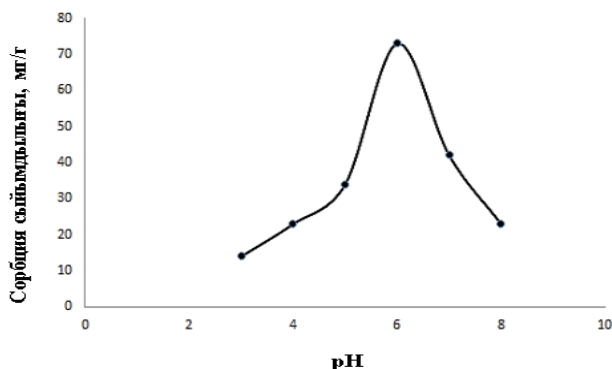
Алынған сорбент құрылымы ИҚ-спектроскопия арқылы зерттелді. Сорбенттің ИҚ спектрінде келесі тербелістер байқалады: 3448 см^{-1} кезінде –

НН-тобының тербелісі, $\text{C}=\text{O}$ -топтары – 1733 см^{-1} , NH -тобының иілу тербелісі – 1641 см^{-1} , ароматты сақинаның $\text{C}-\text{C}$ - байланыстарының созылу тербелісі – 1539 см^{-1} , иілу тербелісі $\text{C}-\text{C}$ - ароматты сақинадағы байланыстар - $1075\text{--}1027 \text{ см}^{-1}$ (ароматты сақина жазықтығында) және $914\text{--}693 \text{ см}^{-1}$ (ароматты сақина жазықтығынан тыс).

Кесте 1 – Полимерлі тасымалдаушылардағы макроциклдерді иммобилизациялау нәтижелері

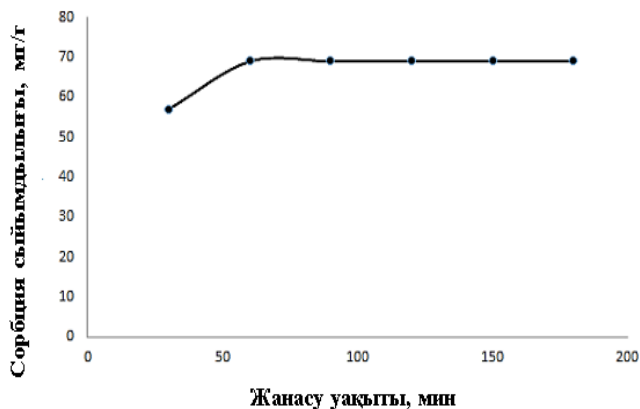
Аминобензотиакр аун-эфир	Түрлену терендігі, %	САС, ммоль/г	Ag ⁺ иондары бойынша СС, ммоль/г
a	92.1	2.5	1.8
b	91.2	2.4	2.4
c	90.8	2.0	1.6
d	89.0	1.8	1.4
e	92.0	2.4	1.0

Орта рН-ың әсері. Сұйық фазадағы сутегі иондарының концентрациясы металл иондарының сорбенттермен күрделі түзілу реакциясының тепе-теңдігіне әсер ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Ag(I) иондарының сорбциясы сулы ортаның статикалық жағдайында жүргізілді, өзгертін параметр тек ортаның қышқылдығы болды ($\text{pH} = 3\text{--}8$). Сыйымдылығы мен пішіні бірдей конустық колбаларға бірдей мөлшерде (50.000 мг) сорбент қосылды. Сұйық фазаның жалпы көлемі және әрбір колбадағы металл иондарының концентрациясы тұрақты болып қалды. әжірібе нәтижелері бойынша сорбция дәрежесі рН 6 шамасында максимум арқылы өтеді. Мұны рН төмен болғанда Ag(I) иондарының адсорбциясы төмен болатынымен түсіндіруге болады. рН артып, 6 мәніне жеткенде, сорбция орындары қолжетімді болады. Демек, күміс(I) иондарының адсорбциясы артады. Бұл күміс(I) иондарының сорбциялану механизмі рН-қа қатты тәуелді екенін көрсетеді. 1-суретте сорбенттің сорбциялық қабілетінің рН-на тәуелділігін графикалық түрде көрсетілген.



Сурет 1 – Сорбенттің сорбциялық сыйымдылығының ортаның рН-на тәуелділігі; $m=30$ мг, $V=20$ мл, $C_{Me} = 10^{-2}$ моль/л.

Сорбент пен сұйық ортаның жанасу уақыты металл иондарының сорбциясы мен сыйымдылығына әсер ететін маңызды көрсеткіш. Жанасу уақытының әсерін зерттеу үшін 50 мл конустық колбаларға 50 мг сорбент қосылды. Сұйық фазаның жалпы көлемі 20 мл болды. Тәжірибе нәтижелері уақыт өткен сайын $Ag(I)$ сорбциясының жоғарылайтынын көрсетті. $Ag(I)$ толық сорбциясы статикалық жағдайда бір сағатта жүреді. 2-суретте сорбенттің сорбциялық қабілетінің жанасу уақытына тәуелділігін графикалық түрде көрсетеді.



Сурет 2 – Жанасу уақытының сорбциялық сыйымдылыққа әсері; $m=30$ мг, $V=20$ мл, $C_{Me} = 10^{-2}$ моль/л.

Сорбенттің кинетикалық сипаттамаларын зерттеу $20^{\circ}C$ температурада бастапқы концентрациясы $C_0 = 1$ мг / мл Ag^+ модельдік ерітінділерінде жүргізілді. Алынған кинетикалық қисық классикалық түрі бар: процесс уақытының ұлғаюымен ерітіндідегі күмістің қалдық концентрациясы

төмендейді. Адсорбцияның тиімді курсына сәйкес келетін ең елеулі төмендеу бірінші сағатта байқалады. Бұл бөлімдегі кинетикалық қисық сызықты дерлік барысы процестің бірінші кинетикалық ретін қабылдауға мүмкіндік береді.

$$\frac{dC}{d\tau} = -k \cdot C$$

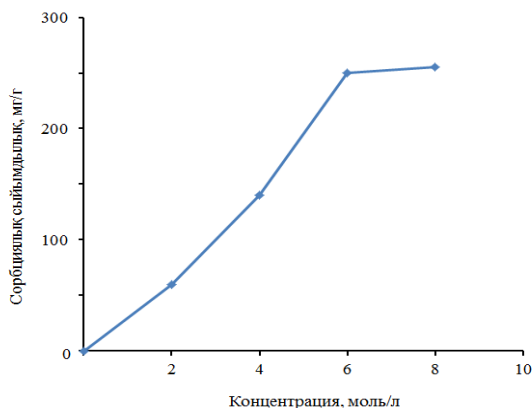
мұндағы C – ерітіндідегі күмістің концентрациясы; k - жылдамдық константасы (мин^{-1}).

Бұл теңдеуді интеграциялау тиакраун-эфир негізіндегі күкіртті сорбентпен күміс иондарының адсорбциялануының кинетикалық моделін алуға және жылдамдық константасын есептеуге мүмкіндік береді:

$$C = C_0 \cdot e^{-k\tau}$$

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C}$$

Реакцияның бірінші реті процестің диффузиялық және кинетикалық аймақтарына сәйкес келуі мүмкін. Алайда, сулы ерітінділердегі металл иондарының көпшілігінің диффузиялық коэффициенттері 10^{-4} – 10^{-5} $\text{см}^2/\text{с}^{-1}$ деңгейінде болатынын ескере отырып, жалпы адсорбция жылдамдығы шектеулі деп болжауға болады. Сорбентте күкірт атомдарының көп болуы адсорбция әрекетінің комплексті-координациялық механизм бойынша жылдам жүруін қамтамасыз етеді. Бірақ мұндай кешеннің түзілуі қатты сорбент бетіндегі күкірт атомдарының орналасуы арасында белгілі геометриялық сәйкестікті қажет етеді, бұл әрқашан мүмкін емес. Ag^+ *бастапқы концентрациясының әсері*. Қатты фазамен адсорбцияланған металдың мөлшерін анықтау үшін Ag(I) иондарының концентрациясы $0.4 \cdot 10^{-3}$ -тен $8.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л-ге дейін өзгертін ерітінділер алдын ала дайындалды. Тәжірибе нәтижелері металдың бастапқы концентрациясының жоғарылауымен адсорбцияланған Ag(I) иондарының мөлшері артып, $8.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л максимумға жететінін көрсетті. Бастапқы металл концентрациясының одан әрі жоғарылауы адсорбцияланған Ag(I) иондарының мөлшерінің айтарлықтай өзгеруіне әкелмейді. Сорбенттің сіңірілген Ag(I) иондарына қатысты есептік максималды адсорбциялық қабілеті 240.8 мг/г құрады. Сорбенттің сорбциялық қабілетінің күміс (I) иондарының бастапқы концентрациясына тәуелділігі графикалық түрде 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3 – Ag(I) иондарының бастапқы концентрациясының сорбциялық сыйымдылыққа әсері; $m=30$ мг, $V=20$ мл.

Сорбенттің Ag(I) иондарына қатысты сорбциялық қабілеті келесі формула бойынша есептелінді: $A=(C_0-C_T) \cdot V/m$,

мұндағы C_0 , C_T – металл иондарының бастапқы және тепе-теңдік концентрациялары, ммоль/л; m –сорбенттің массасы, г; V –тұз ерітінділерінің көлемі, л. *Иондық күштің әсері.* Сорбциялық қабілетінің ерітіндінің иондық күшіне тәуелділігі зерттелді. Күміс құрамында 0.1–1.4 М KCl бар ерітінділерден сорбцияланды. KCl болуы адсорбциялық қабілеттілікті $\mu = 1.0$ мәніне дейін арттырды. Әрі қарай концентрациясы 1.0 М-ден жоғары KCl ерітінділерінен металл сорбциясының айтарлықтай төмендеуі байқалды. Одан кейінгі барлық тәжірибелер иондық күші 1.0 М ерітінділерде жүргізілді. *Десорбцияны зерттеу.* Макроциклді сорбенттердің регенерациясы және қайта пайдалану мүмкіндігі функционалдық топтардың табиғатына және сорбент фазасында түзілетін комплекстің тұрақтылығына байланысты. Сорбент үлгілері сыйымдылығы мен пішіні бірдей конустық колбаларға салынды. Сорбент сіңірген металл иондарын алу үшін әртүрлі концентрациядағы (0.5; 1.0; 1.5; 2.0 М) минералды және органикалық қышқылдар HNO_3 , CH_3COOH пайдаланылды. Тәжірибе нәтижелері қатты фазадағы күміс (I) иондарына қатысты ең жақсы элюионды қасиеттердің 0.5 М HNO_3 ерітіндісіне ие екенін көрсетті: десорбциядан кейінгі сорбциялық қабілеттілік 42.75 мг/г мәнге өзгерді. Салыстыру үшін сол концентрацияда (0.5 М) CH_3COOH ерітіндісімен күміс иондарының десорбциясы 8.44 мг/г құрады.

4. Қорытынды

1. Осылайша, сулы ерітінділерден синтетикалық тиакраун-эфир тобы бар супрамолекулалық сорбентпен күміс(I) иондарының сорбциялануын зерттеу үшін оңтайлы рН мәні 6 болатынын көрсетті, жанасу уақыты 60 мин. Күміс (I) иондарына қатысты сорбенттің максималды сорбциялық

қабілеті 240.8 мг/г жетеді. Максималды сорбциялық қабілеттілікке 15-мүшелі краун-эфирін қолданған жағдайда қол жеткізілді.

Қаржыландырылу. Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым Комитеті 2023-2025 жылдарға арналған «Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ № BR21882220 «Шөлді және тозған жерлерде қолдануға арналған көпфункционалды тыңайтқыштар, композициялар, препараттар мен материалдар синтездеу және технологияларын құру» жобасы аясында орындалды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада келтірілген деректер бойынша авторлар арасында мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ С ТИАКРАУН-ЭФИРНЫМИ ГРУППАМИ

М.К. Курманалиев¹, Н.А. Бектенов², К.А. Садыков², К.Ж. Базарбаева³

¹АО Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

²АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектұрова», Алматы, Казахстан

³НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

*E-mail: bektenbna@gmail.com

Резюме. Введение. Способность краун-эфирных соединений эффективно реагировать с ионами металлов лежит в основе их широкого применения на практике. Селективность соединений зависит от строения лигандов в молекуле, наличия в ней функциональных групп и донорных атомов. Известно, что высокая селективность реагентов зависит не только от природы донорных атомов в цикле, но и от устойчивости структуры цикла. Получение полимеров, содержащих тиакраун-эфирную группу, является актуальной задачей, поскольку такие группы позволяют получать селективные сорбенты. *Цель работы:* синтез новых селективных сорбентов, содержащих тиакраун-эфирную группу, и изучение их комплексообразующих свойств по отношению к ионам серебра. *Результаты и обсуждения:* Для получения полимеров для этой цели была исследована реакция взаимодействия гелевого и пористого хлорметилированного стирола и сополимера дивинилбензола (ХМС) и аминокбензотиакрауна-эфиров с образованием полимеров аналогичного назначения, упомянутых выше. Используя различные влияющие факторы, удалось получить сорбенты с высокой ионообменной емкостью (2.5 ммоль/г). Показано, что оптимальное значение рН среды раствора для исследования сорбции ионов серебра (I) супрамолекулярным сорбентом, содержащим группу тиакраун-эфир из водных растворов, равно 6. Максимальная сорбционная способность сорбента по отношению к ионам серебра (I) достигает 240.8 мг/г при времени контакта раствора и сорбента 60 минут. *Заключение:* Таким образом, комплексообразующая способность предложенных полимерных сорбентов будет зависеть от соотношения реагентов, природы серебряносодержащего реагента, размера макроцикла и дентантности лиганда, определяемой количеством серы в тиакраун-эфирах. Максимальная сорбционная способность достигалась при использовании 15-членного краун-эфира.

Ключевые слова: тиакраун-эфир, сорбционная емкость, сополимер стирола и дивинилбензола, ионы серебра.

Курманалиев Мусрепбек Курманалиевич доктор химических наук, профессор

Бектенов Несипхан Абжапарович доктор химических наук, профессор

Садыков Канат Амиркулович научный сотрудник, преподаватель

Базарбаева Карлыгаш Жаксыбековна кандидат химических наук,
старший преподаватель

References

1. Jonathan W. Steed., Jerry L. Atwood. *Supramolecular Chemistry*, 3rd Edition. New York, Wiley **2022**, 1216.
2. Zhang M., Yan X., Huang F., Niu Z., Gibson H. W. Stimuli-responsive host-guest systems based on the recognition of cryptands by organic guests. *Acc. Chem. Res.* **2014**, *47*(7). <https://doi.org/10.1021/ar500046r>
3. The Beginning of the Story: Crown Ethers. *Cryptands and Cryptates* **2017**, 1–9. https://doi.org/10.1142/9781786343703_0001
4. Yankovskaya V. S., Dovhyi I. I., Bezhin N. A., Milyutin V. V., Nekrasova N. A., Kapranov S. V., Shulgin V. F. Sorption of cobalt by extraction chromatographic resin on the base of di-(tert-butylbenzo)-18-crown-6. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **2018**, *318*(2), 1085-1097. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6090-z>
5. Yakshin V. V., Vilkova O. M., Tsarenko N. A., Tsivadze A. Yu. Metal extraction from nitric acid solutions by the macrocyclic endoreceptor dicyclohexyl-18-crown-6 immobilized in a polymer matrix. *Doklady Chemistry*. **2010**, *430*(2), 54–57.
6. Bezhin, N.A., Dovhyi, I.I., Lyapunov, A.Y. Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents. *J. Radioanal Nucl Chem.* **2017**, *311*(1), 317–322. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4983-2>
7. Chayama K, Morita Y, Iwatsuki S. Thermosensitive gels incorporating polythioether units for the selective extraction of class b metal ions. *J. Chromatogr A.* **2010**, *1217*(43), 6785-90. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.07.015>
8. Fissaha H. T., Nisola G. M., Burnea F. K., Lee J. Y., Koo S., Lee S. P., Chung W. J. Synthesis and application of novel hydroxylated thia-crown ethers as composite ionophores for selective recovery of Ag⁺ from aqueous sources. *J. Ind. Eng. Chem.* **2020**, *81*, 415-426. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.09.032>
9. Cicek B., Calisir U. The Investigation of Complexation Properties and Hard-Soft Acid-Base Relationship Between Thiacycrown Ethers and Metal Ions. *Lett Org Chem.* **2016**, *13*(8), 572-577. <https://doi.org/10.2174/1570178613666160906105300>
10. Fissaha H. T., Gebremichael G. T., Rajkamal A., Kim H., Parohinog K. J., Nisola G. M. Selective and sustainable recovery of Au³⁺ through complexation-reduction capture and mechano-assisted release by thermo-responsive poly (N-isopropylacrylamide-co-15-thiacrown-4 ether)@ SiO₂ nanoparticles. *Chem. Eng. J.* **2022**, *431*, 133698. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133698>
11. Kong H. Y., Wang T. X., Tao Y., Ding X., Han B. H. Crown ether-based hypercrosslinked porous polymers for gold adsorption. *Sep. Purif. Technol.* **2022**, *290*, 120805. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120805>
12. Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K. Fundamentals of ion exchange. Almaty, Almanah. **2020**, 275. (in Russ).