

SELECTIVE SORBENTS BASED ON DIAMINODICYCLOHEXYLCROWN ETHERS

M.K. Kurmanaliev¹, N.A. Bektenov^{2,3}, K.A. Sadykov^{2,3*}

¹Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan

²A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

³Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Abstract: *Introduction.* Macromolecules with crown ether groups are a fundamentally new type of sorbents, whose active centers are ligands, which retain electrical neutrality in the process of simultaneous binding of cations, anions, or organic compounds. *The purpose* of this work is to create new selective sorbents based on diaminodicyclohexylcrown ethers, and to study their complexing properties with respect to alkali metal ions. *Methodology.* To study the composition and properties of the products of the synthesis of crown ether-containing sorbents, chemical and physicochemical methods of analysis have been used: infrared spectroscopy, atomic absorption spectrophotometry. *Results and discussion.* Under the chosen conditions, when using diaminodicyclohexyl-18-crown-6, polycrown ethers have been obtained with a content of crown ether grains of 1.42 mmol/g, when using diaminodicyclohexyl-24-crown-8, the content of macrocyclic groups was 1.24 mmol/g. The extraction of alkali metals under the static conditions by grafted sorbents based on various macrocycles has been studied. The high values of the distribution coefficients of alkali metals (Na⁺, K⁺, Cs⁺) by the synthesized sorbents in an acidic medium have been shown. *Conclusion.* It is known that the amino group promotes the formation of a polymer, which swells in water. It has been noted that the use of sorbents, based on polymers, which swell in water when metal salts are removed from the aqueous medium, leads to an increase in the sorption capacity of the sorbents by facilitating an access of metal ions in water to the active areas of the immobilized sorbent.

Keywords: polymeric sorbents, sorption, crown ethers, selectivity, copolymer of styrene and divinylbenzene

**Kurmanaliev Musrepbek
Kurmanalievich**

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

Nesiphan Abzhaparovich Bektenov

*Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail:
bektenbna@gmail.com*

Kanat Amirkulovich Sadykov

Master of Chemistry; E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Citation: Kurmanaliev M.K., Bektenov N.A., Sadykov K.A. Selective sorbents based on diaminodicyclohexylcrown ethers. *Chem. J. Kaz.*, **2023**, 4(81), 54-63. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-1.2710-1185.06>

ДИАМИНОДИКЛОГЕКСИЛКРАУН-ЭФИРЛЕР НЕГІЗІНДЕ СЕЛЕКТИВТІ СОРБЕНТТЕР

М.Қ. Құрманалиев¹, Н.А. Бектенов^{2,3}, Қ.А. Садықов^{2,3}*

¹ Алматы технологиялық университеті АҚ, Алматы, Қазақстан

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

³ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Түйіндемe. *Кіріспе.* Краун-эфир топтары бар макромолекулалардың белсенді орталықтары катиондардың, аниондардың немесе органикалық қосылыстардың бір мезгілде байланысу процесінде электрлік бейтараптығын сақтайтын лигандтар болып табылатын сорбенттердің принципті жаңа түрін білдіреді. Бұл жұмыстың мақсаты диаминодициклогексилкраун-эфирлер негізінде жаңа селективті сорбенттер жасау және олардың сілтілік метал иондарына қатысты комплекс түзу қасиеттерін зерттеу. *Әдістемесі.* Құрамында краун-эфирі бар сорбенттерді синтездеу өнімдерінің құрамы мен қасиеттерін зерттеу үшін химиялық және физика-химиялық талдау әдістері: инфракызыл спектроскопия, атомдық - абсорбциялық спектрофотометрия әдістері қолданылды. *Нәтижелер және талқылау.* Циклоолифатты краун-эфирлерді стирол мен дивинилбензолдың макрокеуекті хлорметилденген сополимеріне химиялық егу жүргізілді. Таңдалған шарттарда диаминодициклогексил-18-краун-6 пайдаланған кезде 1,42 ммоль/г краун-эфир тобы бар поликраун-эфирлер алынды, диаминодициклогексил-24-крон-8 қолданғанда макроциклдік топтардың мөлшері 1,24 ммоль/г болды. Өртүрлі макроциклдер негізінде егілген сорбенттер арқылы статикалық жағдайда сілтілі металдарды сорбциялау зерттелді. Қышқыл ортада синтезделген сорбенттермен сілтілік металдардың (Na⁺, K⁺, Cs⁺) таралу коэффициенттерінің жоғары мәндері көрсетілген. Диаминодициклогексил-18-краун-6 және диаминодициклогексил-24-краун-8 негізіндегі сілтілі металл иондарына арналған жаңа селективті сорбенттер алынды. Өртүрлі макроциклдер негізінде егілген сорбенттермен статикалық жағдайда сілтілі металдарды бөліп алу зерттелді. *Қорытынды.* Құрамында краун эфирлері бар сулы ерітінділерден металл иондарын алу тиімділігіне амин топтарының болуы әсер етеді. Амин тобының суда ісінетін полимерді өндіруге ықпал ететіні белгілі. Металл тұздарын сулы ортадан шығару кезінде суда ісінетін полимерлер негізіндегі сорбенттерді қолдану судағы металл иондарының иммобилизацияланған сорбенттің белсенді жерлеріне жетуін жеңілдету есебінен сорбенттердің сорбциялық қабілетінің жоғарылауына әкеледі. Өртүрлі макроциклдер негізінде егілген сорбенттермен статикалық жағдайда сілтілі металдарды бөліп алу зерттелді. Сонымен қатар қышқылдық ортада синтезделген сорбенттер бойынша сілтілік металдардың таралу коэффициенттерінің жоғары мәндері көрсетілген.

Түйін сөздер: полимерлік сорбенттер, сорбция, краун-эфирлер, селективтілік, стирол және дивинилбензол сополимері

Құрманалиев Мүсірәпбек Құрманәліұлы Химия ғылымдарының докторы, профессор

Бектенов Несіпхан Абжапарович Химия ғылымдарының докторы, профессор

Садықов Қанат Амиркулович Химия магистрі

1. Кіріспе

Соңғы жылдары өзінің ерекше құрылымына байланысты краун эфирлері химияның көптеген саласында қолдану аясы кеңейюде. Атап айтқанда дәрі-дәрмектерді жеткізуде, еріткіштерді шығаруда, косметика өндірісінде, материалтану, катализ, бөлу, сорбциялық қасиеті бар сорбенттер шығару және органикалық синтезде кеңінен қолданылуда. Бұл қосылыстардың басты ерекшелігі - олардың өртүрлі органикалық және бейорганикалық катиондары бар селективті және тұрақты кешендер түзу

қабілеті. Сондықтан краун эфирлері газ хроматографиясында стационарлық фаза ретінде пайдаланылуы мүмкін, сонымен қатар олар сілтілі және сілтілі жер металдарының катиондарын анықтау және бөлу үшін катиондық хроматография және сорбция үшін құнды болып табылады [1-5].

Макроциклді полиэфирлердің, атап айтқанда, краун-эфирлердің ерекше физика-химиялық қасиеттері бар, өйткені олар сілтілі металдар тұздарымен комплекс түзуге, әлсіз полярлы органикалық еріткіштерде аз еритін тұздардың ерігіштігін жоғарылатуға, сондай-ақ әртүрлі полярлық ерітінділердегі иондық жұптардың күйін өзгертуге қабілетті [6-8].

Полиэфирлік макроциклдердің сілтілі және сілтілі-жер металдарының катиондарына қатысты комплекс түзу қабілеті жоғары. Оларды тиімді бөліп шығаруда белгілі бір металдар үшін селективті краун-эфирлер негізіндегі сорбенттерді қолдану бұрыннан бері ұсынылған. Оларды қолдану талдау схемасын айтарлықтай жеңілдетеді және күрделі құрамды ерітінділерден металл катионын бөліп алуға мүмкіндік береді [9-12].

Құрамында краун-эфирлері және олардың аналогтары бар полимерлік сорбенттерді алу әдістерін екі үлкен топқа бөлуге болады. Сілтілік метал иондарын селективті сорбциялық концентрациялау үшін коваленттік байланыссыз дициклогексил-18-краун-6 және оның туындылары [13, 14] негізіндегі бірқатар сорбенттер алынды, алайда олардың айтарлықтай кемшіліктері бар. Ең алдымен, бұл дициклогексил-18-краун-6-ның суда жеткілікті жоғары ерігіштігі, оның сорбциялық жүйеден шайылуына әкеледі.

Бұл жұмыстың мақсаты диаминодициклогексил-18-краун-6 және диаминодициклогексил-24-краун-8 негізінде жаңа селективті сорбенттер жасау және олардың сілтілік металл иондарына қатысты комплекс түзу қасиеттерін зерттеу болып табылады.

2. Тәжірибелік бөлім

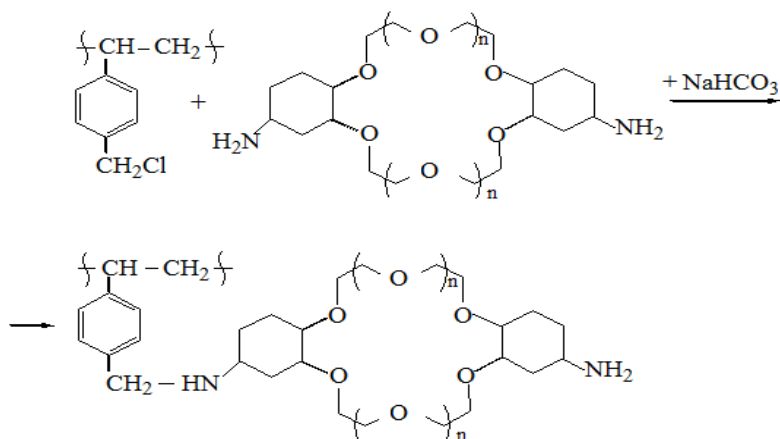
[7] жұмыстағы әдіске сәйкес диаминодициклогексил-18-краун-6 (ДАДЦГ18К6) және диаминодициклогексил-24-краун-8 (ДАДЦГ24К8) алынды. Құрамында 18,4% хлор бар стирол мен дивинилбензолдың (ХМС, 8% дивинилбензол) хлорметилденген сополимері қолданылды. Циклоалифатты краун-эфирлердің амин туындыларының ХМС-мен әрекеттесуі диоксанды ортада NaHCO_3 қатысуымен 90°C 8 сағат бойы полимер: краун қосылыс тең 1:1 молярлық қатынасында араластыра отырып жүргізілді. Алмасу сыйымдылығы азот мөлшерінен және [13] жұмыста сипатталған әдіс бойынша анықталды. Na, K, Cs иондарының сорбциялану процесін зерттеу бөлме температурасында араластыра отырып, нитрат тұздарының сулы ерітінділерінен статикалық жағдайда жүргізілді. Сорбция кинетикасы шектеулі ерітінді көлемі әдісімен зерттелді. Металл иондарының ағымдағы концентрациясы (Ст) «Квант-2» атомдық - абсорбциялық спектрофотометрінде анықталды. Таралу коэффициенті мына формула бойынша есептелді:

$$K_T = \frac{C_0 - C}{C} \cdot \frac{V}{m}$$

мұндағы C_0 – бастапқы ерітіндідегі сілтілік металдар концентрациясы, мг/л;
 C – сорбциядан кейінгі ерітіндідегі сілтілік металдар концентрациясы, мг/л;
 V – сорбцияға алынған бастапқы ерітіндінің көлемі, мл; m – сорбцияға алынған сорбенттің массасы, г, ИҚ – спектрлері КВг таблеткаларында Vector-22 Фурье-спектрометрінде жазылып алынды.

3. Нәтижелер мен талқылау

Қол жетімді синтетикалық полимерлердің алуан түрлілігі олардың краун-эфирлерді иммобилизациялау үшін тасымалдаушылар ретінде кеңінен қолданылуын қамтамасыз етеді [13-15]. Құрамында 18,4% хлор бар стирол мен дивинилбензолдың (8% дивинилбенол) макрокеуекті сополимерін (ХМС) қолдандық. Құрамында краун-эфирі бар сорбенттерді синтездеу үшін біз бірінші рет алған алициклді диаминодициклогексилкраун-эфирлері ерекше қызығушылық тудырады, өйткені оның ең жоғары электрон беру қабілеті бар [7]. ХМС-дің көрсетілген краун-эфирлерімен әрекеттесу реакциясы келесі схема бойынша жүреді:



Полимер тасымалдаушы бетіндегі макроциклдердің иммобилизациясы ИҚ-спектроскопия және элементтік талдау арқылы расталды. Құрамында макроцикл бар сорбенттердің ИҚ –спектрінде 1350, 1219,1135 cm^{-1} аймағында қарапайым эфирлік байланыстардың $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ валенттілік тербелістерінің өзіне тән жұтылу жолақтары бар, NH_2 – топтарының валенттілік тербелістерінің интенсивті жиіліктері 3325, 335 cm^{-1} орналасқан. CH_2Cl –топтарының 1273 және 673 cm^{-1} сипаттамалық жиіліктерінің сорбентте болмауы иммобилизацияның терең жүргенін дәлелдейді. Таңдалған шарттарда диаминодициклогексил-18-краун-6 пайдаланған кезде 1,42 ммоль/г краун-эфир түйіршіктері бар поликраун-эфирлер алынды, ал

диаминодициклогексил-24-краун-8 қолданғанда макроциклдік топтардың мөлшері 1,24 ммоль /г болды (1- кесте).

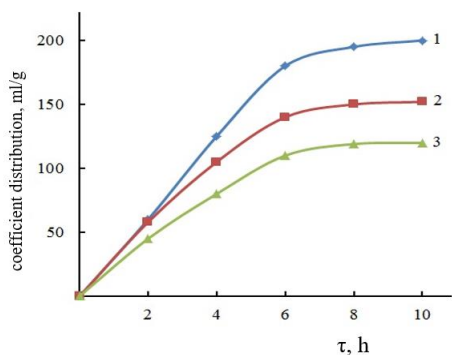
1-Кесте – Краун-эфирлерді иммобилизациялау нәтижелері

Краун-эфир	Еріткіш	Температура, °С	Краун-эфир мөлшері, %	Алмасу сыйымдылығы, ммоль/г
ДАДЦГ18к6	ДМФА	90	48.5	1.18
ДАДЦГ18к6	диоксан	70	36.2	0.88
ДАДЦГ18к6	диоксан	80	50.2	1.22
ДАДЦГ18к6	диоксан	90	58.4	1.42
ДАДЦГ24к8	диоксан	90	54.1	1.24

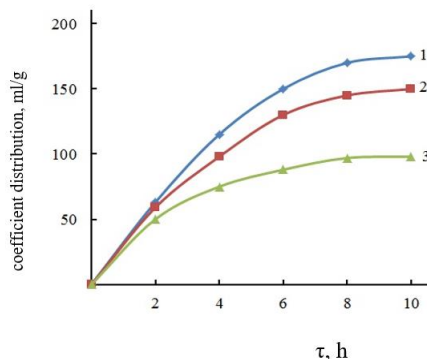
Кестеде келтірілген нәтижелерден полимерге енген краун-эфир тобының мөлшері жоғары мәнге ие болды. Бұған макрокеуекті сополимердің рөлі әсер ететі деп болжам айтуға негіз бар. Полимер молекулаларымен иммобилизацияланған краун-эфирлер негізіндегі сорбенттердің сорбциялық белсенділігі зерттелді.

Сорбцияның кинетикалық заңдылықтарын анықтау үшін азот қышқылының концентрациясы 1 М болатын ерітінділерден сілтілік металдар алынған сорбентпен бөліп жығару жүргізілді. Металл катиондарының сорбциялық кинетикасы сорбент үлгілерінің нитрат тұздарының сулы ерітінділерімен жанасуының әртүрлі ұзақтығында зерттелді. Тәжірибе сорбент толығымен қаныққанша жүргізілді. Сорбция процесі белгілі бір аралықта үлгілер алу және ерітіндідегі металл катиондарының С қалдық концентрациясын өлшеу арқылы зерттелді.

Сілтілік металдардың таралу коэффициенті (1) формула бойынша есептелді. Алынған металды сорбциялаудың кинетикалық қисығы 1- және 2- суреттерде көрсетілген.



Сурет 1 – ДЦГ18К6 тобы бар сорбенттің сілтілік металдарды сорбциялау кинетикасы: 1-К²⁺; 2-Сs⁺; 3 - Na⁺.

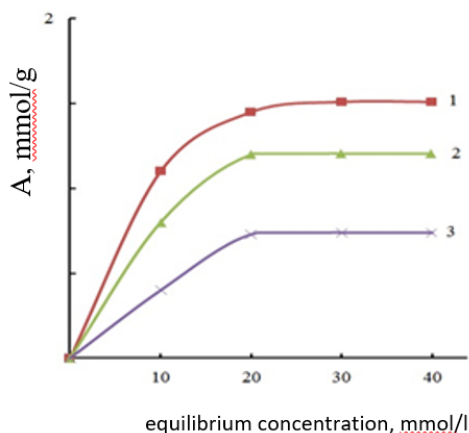


Сурет 2 – ДЦГ24К8 тобы бар сорбенттің сілтілік металдарды сорбциялау кинетикасы: 1 – Cs⁺; 2 – K⁺; 3-Na⁺.

Сорбент пен сілтілік металл тұздары ерітіндісінің жанасу уақыты адсорбция процесінің кинетикалық заңдылықтарын зерттеудің маңызды параметрі болып табылады. Суреттен алғашқы 120 минутта краун-эфирінің бетінде бос адсорбциялық учаскелердің көп болуына байланысты адсорбция процесінің жылдамдығы жоғарылайтынын көруге болады. Жанасу уақытының одан әрі ұлғаюымен полимакроциклдің кеуекті беті сорбатпен біртіндеп толтырылуына байланысты адсорбция жылдамдығы төмендейді және адсорбция процесі тепе-теңдікке жетеді. Жалпы сорбция уақыты 10 сағатты құрайды. ДАДЦГ18К6 бар сорбент үшін келесі селективті қатарлар табылды: $K^+ > Cs^+ > Na^+$ және ДАДЦГ24К8 бар сорбент үшін: $Cs^+ > K^+ > Na^+$.

Көріп отырғанымыздай, синтезделген жаңа сорбенттер үшін катион-макроцикл құрылымдық сәйкестік принципі сақталған, яғни бұл комплекстер металл ионының мөлшері краун-эфирі молекуласының қуысының өлшеміне жақын болғанда ең тұрақты болады.

Алынған сорбентпен сілтілік металдардың сорбциялық изотермасы зерттелетін концентрация диапазонында жоғары селективтілікті және сорбция бойынша эксперименттік деректер Ленгмюр моделімен жақсы сипатталатыны анықталды. Алынған сорбенттер арқылы сілтілі металдардың сорбция изотермасын құру нәтижелері 3-суретте келтірілген.



Сурет 3 – ДЦГ18К тобы бар сорбенттің сілтілік металдарды сорбциялау изотермасы.
1 - K^+ ; 2 - Cs^+ , 3 - Na^+ .

Краун-эфир тобы бар жаңа сорбенттердің сілтілік металдар иондарымен метил спирті ортасында комплекс түзу қабілеті зерттелді. Комплекс тұрақтылығы [10] жұмыста көрсетілген әдіс бойынша анықталды. Зерттеу нәтижелері 2-кестеде келтірілді.

2-Кесте – Сорбенттердің сілтілік металл катиондарымен комплекстерінің тұрақтылық константалары (lg K)

Краун –эфир тобы	lg K		
	Мономерлік лиганд Na ⁺	Полимерлік лиганд K ⁺	Cs ⁺
ДЦГ18К6	4.25	5.97	4.40
	4.60	7.20	5.16
ДЦГ24К8	2.36	3.53	4.15
	2.74	3.82	4.60

Кестедегі мәліметтер алынған сорбенттердің комплекс түзу қабілеті жоғары екенін көрсетеді. Полимерлі матрица макроциклдік қосылыстардың күрделі комплекс түзу қабілетіне айтарлықтай әсер етеді, яғни көрші топтардың донорлық атомдарымен өзара әрекеттесуі байланысты арттырады.

Құрамында краун эфирлері бар сулы ерітінділерден металл иондарын алу тиімділігіне амин топтарының болуы әсер етеді. Амин тобының суда ісінетін полимерді өндіруге ықпал ететіні белгілі. Металл тұздарын сулы ортадан шығару кезінде суда ісінетін полимерлер негізіндегі сорбенттерді қолдану судағы металл иондарының иммобилизацияланған сорбенттің белсенді жерлеріне жетуін жеңілдету есебінен сорбенттердің сорбциялық қабілетінің жоғарылауына әкеледі. Осылайша, қолжетімді полимерлі тасымалдаушыларда макроциклді иммобилизациялаудың ұсынылып отырған тиімді әдісі полимераналогтық түрлендірулер арқылы краун-эфир топтары мен амин топтарының жоғары концентрациясы бар түйіршікті сорбенттер алуға мүмкіндік береді.

4. Қорытынды

Диаминодициклогексил-18-краун-6 және диаминодициклогексил-24-краун-8 негізіндегі сілтілік металл иондарына арналған жаңа селективті сорбенттер алынды. Әртүрлі макроциклдер негізінде егілген сорбенттермен статикалық жағдайда сілтілік металдарды бөліп алу зерттелді. Сонымен қатар қышқылдық ортада синтезделген сорбенттер бойынша сілтілік металдардың (Na, K, Cs) таралу коэффициенттерінің жоғары мәндері көрсетілген. ДАДЦГ18К6 бар сорбент үшін келесі селективті қатарлар табылды: $K^+ > Cs^+ > Na^+$ және ДАДЦГ24К8 бар сорбент үшін: $Cs^+ > K^+ > Na^+$

СЕЛЕКТИВНЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ДИАМИНОДИЦИКЛОГЕКСИЛКРАУН-ЭФИРОВ

М.К. Курманалиев¹, Н.А. Бектенов^{2,3}, К.А. Садыков^{2,3}*

¹АО «Алматынский технологический университет», Алматы, Казахстан

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

³Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru

Резюме. *Введение.* Макромолекулы с краун-эфирными группами представляют собой принципиально новый тип сорбентов, активными центрами которых являются лиганды, сохраняющие электронейтральность в процессе одновременного связывания катионов, анионов или органических соединений. *Целью данной работы* является создание новых селективных сорбентов на основе диаминодициклогексилкраун-эфиров и изучение их комплексообразующих свойств по отношению к ионам щелочных металлов. *Методология.* Для изучения состава и свойств продуктов синтеза краун-эфир содержащих сорбентов использованы химические и физико-химические методы анализа: инфракрасная спектроскопия, атомно-абсорбционная спектрофотометрия. *Результаты и обсуждение.* Осуществлена химическая прививка циклоалифатических краун-эфиров на макропористый хлорметилированный сополимер стирола и дивинилбензола. В выбранных условиях при применении диаминодициклогексил-18-краун-6 получены поликраун-эфир с содержанием краун-эфирных групп 1,42 ммоль/г, при использовании диаминодициклогексил-24-краун-8 содержание макроциклических групп 1,24 ммоль/г. Исследовано извлечение щелочных металлов в статических условиях сорбентами привитого типа на основе различных макроциклов. Показаны высокие значения коэффициентов распределения щелочных металлов (Na^+ , K^+ , Cs^+) синтезированными сорбентами в кислой среде. Показана эффективность полученного сорбента для извлечения катионов щелочных металлов. *Заключение.* На эффективность извлечения ионов металлов из водных растворов, содержащих сложные эфиры Крауна, влияет наличие аминогрупп. Известно, что аминогруппа способствует образованию полимера, который набухает в воде. Было отмечено, что применение сорбентов на основе полимеров, набухающих в воде при удалении солей металлов из водной среды, приводит к повышению сорбционной способности сорбентов за счет облегчения доступа ионов металлов в воде к активным участкам иммобилизованного сорбента. Исследовано разделение щелочных металлов в статических условиях с помощью привитых сорбентов на основе различных макроциклов. В то же время для сорбентов, синтезированных в кислой среде, показаны высокие значения коэффициентов распределения щелочных металлов.

Ключевые слова: полимерные сорбенты, сорбция, краун-эфиры, селективность, сополимер стирола и дивинилбензола

Курманалиев Мусрепбек Курманалиевич Доктор химических наук, профессор

Бектенов Несипхан Абжапарович Доктор химических наук, профессор

Садыков Канат Амиркулович Магистр химии

Әдебиеттер тізімі

1. Ullah F., Khan T.A., Itaf J., Anwar S., Khan M.F.A., Khan M.R., Ullah S., Fayyaz ur Rehman M., Mustaqeem M., Kotwica-Mojzzych K., Mojzzych M. Heterocyclic Crown Ethers with Potential Biological and Pharmacological Properties: From Synthesis to Applications. *Appl. Sci.*, **2022**; 12(3). 1102. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031102>
2. Mohammadzadeh Kakhki R., Rakhshanipour M. Application of nanoparticle modified with crown ether in colorimetric determinations. *Arab. J. Chem.* **2019**, 12, 3096–3107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.012>
3. Basok S.S., Schepetkin I.A., Khlebnikov A.I., Lutsyuk A.F., Kirichenko T.I., Kirpotina L.N., Quinn M.T. Synthesis, biological evaluation, and molecular modeling of aza-crown ethers. *Molecules*, **2021**, 26(8), 2225. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26082225>
4. Lee W., Bang E., Yun J. H., Paik M. J., Lee W. Enantiodiscrimination using a chiral crown ether as a chiral solvating agent using NMR spectroscopy. *Nat. Prod. Commun.*, **2019**, 14(5), 1934578X19849191. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X19849191>
5. Mu W., Yu Q., Gu J., Li X., Yang Y., Wei H., Peng S. Bonding of crown ethers to α -zirconium phosphate - Novel layered adsorbent for radioactive strontium separation. *Sep. Purif. Technol.*, **2020**, 240, 116658. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116658>
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6090-z>

7. Ергожин Е.Е., Курманалиев М.К. *Полимеры на основе краун-соединений*. Алматы, «ҒЫЛЫМ», **1994**, 271 с.
8. Gromov V.F., Ikim M.I., Gerasimov G.N., Trakhtenberg L.I. Crown ethers: selective sorbents of radioactive and heavy metals. *Russ. J. Phys. Chem.* **2021**, *15(1)*, 140-152. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990793121010036>
9. Wang Y., Liu., Han J., Wang L., Chen T., Ni L. Selective extraction and preconcentration of trace lead (II) in medicinal plant-based ionic liquid hollow fiber liquid phase microextraction system using dicyclohexyl-18-crown-6 as membrane carrier. *Anal. Methods*, **2015**, *7(6)*, 2339-2346. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4AY02625J>
10. Qian Y., Zhang Z., Tian W., Wen L., Jiang L. A Pb²⁺ ionic gate with enhanced stability and improved sensitivity based on a 4'-aminobenzo-18-crown-6 modified funnel-shaped nanochannel. *Faraday Discuss.*, **2018**, *210*, 101-111. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8FD00025E>
11. Zakurdaeva O.A., Nesterov S.V., Feldman V.I. An ESR study of radiation-chemical transformation of 4,4(5)-di(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 in solution in 1-octanol at 77 K. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2010**, *284*, 641-645. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0529-1>
12. Bezhin N.A., Dovhyi I.I., Lyapunov A.Yu. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4983-2>
13. Ергожин Е.Е., Курманалиев М.К. *Основы ионного обмена*. Алматы, «Алманахъ», **2020**, 275 с.
14. Yin J., Zhang J., Wang C., Lv N., Jiang W., Liu H., Ji H. Theoretical insights into CO₂/N₂ selectivity of the porous ionic liquids constructed by ion-dipole interactions. *J. Mol. Liq.*, **2021**, *344*, 117676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117676>
15. Rajput S., Muley S., Kulkarni K.S., Kapdi A.R., Patwardhan A.V. Synthesis of versatile diglycolamide grafted dendritic polymer and using it as a ligand for metal partitioning. *J. Indian Chem. Soc.*, **2021**, *98(6)*, 100084. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100084>

References

1. Ullah F., Khan T.A., Iltaf J., Anwar S., Khan M.F.A., Khan M.R., Ullah S., Fayyaz ur Rehman M., Mustaqeem M., Kotwica-Mojzych K., Mojzych M. Heterocyclic Crown Ethers with Potential Biological and Pharmacological Properties: From Synthesis to Applications. *Appl. Sci.*, **2022**; *12(3)*. 1102. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031102>
2. Mohammadzadeh Kakhki R., Rakhshanipour M. Application of nanoparticle modified with crown ether in colorimetric determinations. *Arab. J. Chem.* **2019**, *12*, 3096-3107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.012>
3. Basok S.S., Schepetkin I.A., Khlebnikov A.I., Lutsyuk A.F., Kirichenko T.I., Kirpotina L.N., Quinn M.T. Synthesis, biological evaluation, and molecular modeling of aza-crown ethers. *Molecules*, **2021**, *26(8)*, 2225. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26082225>
4. Lee W., Bang E., Yun J. H., Paik M. J., Lee W. Enantiodiscrimination using a chiral crown ether as a chiral solvating agent using NMR spectroscopy. *Nat. Prod. Commun.*, **2019**, *14(5)*, 1934578X19849191. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X19849191>
5. Mu W., Yu Q., Gu J., Li X., Yang Y., Wei H., Peng S. Bonding of crown ethers to α -zirconium phosphate - Novel layered adsorbent for radioactive strontium separation. *Sep. Purif. Technol.* **2020**, *240*, 116658. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116658>
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-018-6090-z>
7. Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K. *Polimery na osnove kraun-soedinenii [Polymers based on crown compounds]*. Алматы, «Fylym», 1994, 271 p.
8. Gromov V.F., Ikim M.I., Gerasimov G.N., Trakhtenberg L.I. Crown ethers: selective sorbents of radioactive and heavy metals. *Russ. J. Phys. Chem.* **2021**, *15(1)*, 140-152. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990793121010036>
9. Wang Y., Liu., Han J., Wang L., Chen T., Ni L. Selective extraction and preconcentration of trace lead (II) in medicinal plant-based ionic liquid hollow fiber liquid phase microextraction system using dicyclohexyl-18-crown-6 as membrane carrier. *Anal. Methods*, **2015**, *7(6)*, 2339-2346. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4AY02625J>

10. Qian Y., Zhang Z., Tian W., Wen L., Jiang L. A Pb²⁺ ionic gate with enhanced stability and improved sensitivity based on a 4'-aminobenzo-18-crown-6 modified funnel-shaped nanochannel. *Faraday Discuss.*, **2018**, 210.101-111. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8FD00025E>

11. Zakurdaeva O.A., Nesterov S.V., Feldman V.I. An ESR study of radiation-chemical transformation of 4,4(5)-di(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 and its solution in 1-octanol at 77K. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2010**, 284, 641–645. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0529-1>

12. Bezhin N.A., Dovhyi I.I., Lyapunov A.Yu. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4983-2>

13. Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K. Osnovy ionnogo obmena [*Fundamentals of ion exchange*]. Almaty, «Almanakh», 2020, 275 p.

14. Yin J., Zhang J., Wang C., Lv N., Jiang W., Liu H., Ji H. Theoretical insights into CO₂/N₂ selectivity of the porous ionic liquids constructed by ion-dipole interactions. *J. Mol. Liq.*, **2021**, 344, 117676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117676>

15. Rajput S., Muley S., Kulkarni K.S., Kapdi A.R., Patwardhan A.V. Synthesis of versatile diglycolamide grafted dendritic polymer and using it as a ligand for metal partitioning. *J. Indian Chem. Soc.*, **2021**, 98(6), 100084. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100084>