

## SYNTHESIS OF NEW ION-EXCHANGE SORBENTS ON AN ORGANOMINERAL BASIS

\*K.A. Sadykov<sup>1,2</sup>, N.A. Bektenov<sup>1,2</sup>, T.K. Chalov<sup>2</sup>, N.S. Chinibayeva<sup>1</sup>,  
N.S. Zhusipbekova<sup>1</sup>, A.K. Baidullayeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NJSC “Abai Kazakh National Pedagogical University”, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>JSC Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru)

**Abstract.** *Introduction.* According to scientists, the shortage of drinking and fresh water may become a global environmental issue. This article discusses the synthesis of new ion exchangers using natural resources. An ion-exchange sorbent was synthesized from the mineral vermiculite for the sorption of metal ions from water resources. *Purpose:* To create an organomineral sorbent using vermiculite and epoxyacrylate copolymers and evaluate its sorption properties for MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> ions. *Methods:* Synthesis was conducted in a microwave at 300 W for 10 minutes, with orthophosphoric acid amounts increased two- and threefold. *Results and Discussion:* The sorbent is suitable for hydrometallurgy and water purification. Optimal conditions for modifying vermiculite with glycidyl methacrylate and orthophosphoric acid were established. The static exchange capacity for a 0.1 N HCl solution was 5.91 mg-eq/g. Sorption capacity reached 39.8 mg/g for MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ions (94% recovery) and 39.06 mg/g for ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> ions (96% recovery). *Conclusion:* The studies demonstrated that the organomineral sorbent exhibits high sorption capacity for MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ions, reaching 39.8 mg/g with a recovery rate of 94%, and for ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> ions, the sorption capacity was 39.06 mg/g, with a recovery rate of 96%.

**Keywords:** ion exchangers, sorption tank, epoxyacrylate copolymer, modified mineral, vermiculite, organomineral sorbent

<i>Kanat Amirkulovich Sadykov</i>	<i>Master of Chemistry; E-mail: <a href="mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru">kanat.sadykov.80@bk.ru</a></i>
<i>Nesiphan Abzhaparovich Bektenov</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: <a href="mailto:bektenbna@gmail.com">bektenbna@gmail.com</a></i>
<i>Chalov Tolegen Kamenovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: <a href="mailto:chalov.45@mail.ru">chalov.45@mail.ru</a></i>
<i>Chinibayeva Nurzhan Sarsenbayeva</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: <a href="mailto:chinibayeva@mail.ru">chinibayeva@mail.ru</a></i>
<i>Zhusipbekova Nursulu Sarsenovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: <a href="mailto:nursulusarjus@mail.ru">nursulusarjus@mail.ru</a></i>
<i>Baidullayeva Ainash Kairatovna</i>	<i>Master of Chemistry; E-mail: <a href="mailto:ainash.kz@list.ru">ainash.kz@list.ru</a></i>

**Citation:** Bektenov N.A., Sadykov K.A., Chalov N.K., Chinibayeva N.S., Zhusipbekova N.S., Baidullayeva A.K. Synthesis of new ion-exchange sorbents on an organomineral basis. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 4(88), 77-86. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-4.2710-1185.50>

ОРГАНОМИНЕРАЛ НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА ИОНАЛМАСТЫРҒАШ  
СОРБЕНТТЕР СИНТЕЗІ\*Қ.А. Садықов<sup>1,2</sup>, Н.А. Бектенов<sup>1,2</sup>, Т.К. Чалов<sup>2</sup>, Н.С. Чинибаева<sup>1</sup>,  
Н.С. Жусипбекова<sup>1</sup>, А.К. Байдуллаева<sup>2</sup><sup>1</sup>«Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан<sup>2</sup>«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

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

**Түйіндеме.** Кіріспе. Ғалымдардың болжамы бойынша, ауыз су мен тұщы судың тапшылығы әлемдік экологиялық проблемаға айналуы мүмкін. Осы мәселенің шешімі экологиялық қауіпсіз модификацияланған сорбенттер болуы мүмкін. Мақалада табиғи ресурстарды қолдану арқылы жаңа ионалмастырғыштардың синтезі қарастырылады. Вермикулит минералының негізінде металл иондарын су ресурстарынан сорбциялауға арналған ионалмасу сорбенті алынды. *Жұмыстың мақсаты* – вермикулит пен эпоксиакрилат сополимерлері негізіндегі органоминаралды сорбент алу. Алынған сорбенттің  $MoO_4^{2-}$ ,  $ReO_4^-$  иондарына қатысты сорбциялық қасиеттерін зерттеу. *Әдістер:* Синтез микротолқынды пеште 300 Вт қуатпен 10 минутта ортофосфор қышқылының массасын 2 және 3 есеге арттыра отырып жүргізілді. *Нәтижелер мен талқылаулар:* Алынған сорбент гидрometаллургияда, шаруашылық-ауыз, өндірістік және ағынды суларды түрлі ластаушы заттардан тазартуда қолдануға әлеуетті. Табиғи минералдық шикізатты (вермикулитті), глицидилметакрилат және ортофосфор қышқылы сополимерлерін модификациялаудың оңтайлы шарттары анықталды. Органоминаралды сорбенттің 0.1н HCl ерітіндісі бойынша статикалық алмасу сыйымдылығы 5.91 мг-экв/г тең. Сорбентінің  $MoO_4^{2-}$ ,  $ReO_4^-$  иондарына қатысты сорбциялық сыйымдылығы ерітінділердің концентрациясына байланысты зерттелді. *Қорытынды:* Зерттеулер органоминаралды сорбенттің  $MoO_4^{2-}$  және  $ReO_4^-$  иондары үшін жоғары сорбциялық сыйымдылығы бар екенін көрсетті.  $MoO_4^{2-}$  иондары үшін ол 39.8 мг/г, ал сіңіру дәрежесі 94%, ал  $ReO_4^-$  иондары үшін сорбциялық сыйымдылық 39.06 мг/г, сіңіру дәрежесі 96%.

**Түйін сөздер:** ионалмастырғыштар, сорбциялық сыйымдылық, эпоксиакрилат сополимері, модификацияланған минерал, вермикулит, органоминаралды сорбент.

<i>Қанат Әмірқұлұлы Садықов</i>	<i>ғылыми қызметкер, аға оқытушы</i>
<i>Несипхан Әбжапарұлы Бектенов</i>	<i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Чалов Төлеген Каменович</i>	<i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Чинибаева Нуржан Сарсенбаевна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы</i>
<i>Жусипбекова Нұрсұлу Сарсеновна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы</i>
<i>Байдуллаева Айнаш Кайратовна</i>	<i>инженер, оқытушы</i>

## 1. Кіріспе

Судағы металл иондарын тазартудың экологиялық тиімді шешімдерінің бірі шығу тегі табиғи және жасанды ионалмастырғыш сорбенттерді пайдалану болып табылады. Модификацияланған цеолит ( $MAIO_2(SiO_2)_x(H_2O)_y$ , мұндағы М -  $H^+$  немесе  $Na^+$  иондары, монтмориллонит  $(Al_2(Si_{14}O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O)$  және вермикулит  $((Mg^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3[AlSi_4O_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot 4H_2O)$  сияқты сорбенттерді зерттеу және қолдану олардың кеуектілігі мен активтендірілген орталықтарының болуына байланысты қарастырылады [1-3].

Қазіргі уақытта өнеркәсіпте және басқа салаларда қолданылатын сорбенттердің көпшілігі қымбат импорттық материалдар болып табылады және әрдайым талаптарға сәйкес келе бермейді. Осыған байланысты жоғары

сорбциялық сыйымдылыққа, жақсартылған физика-химиялық сипаттамалары бар, қайта пайдалануға жарамды отандық ионалмасу сорбенттерін алудың қолжетімді және тиімді әдістерін әзірлеу ғылым мен экономика қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін маңызды міндет болып табылады.

Зерттеулер көрсеткендей, вермикулит ауыр металдардың әртүрлі иондарын, мысалы Ni (II), Cu (II), Pb (II) және Cd(II) иондарын сулы ерітінділерден жоюға тиімділігін көрсеткен. Ni (II) иондарының вермикулит бетіне сорбциялану механизмі Na<sup>+</sup> және басқа да авторлардың жұмысында егжей-тегжейлі қарастырылып, бұл процесте қабатаралық кеңістіктердің шешуші рөл атқаратындығы атап өтілген [4-7].

Вермикулитті модификациялау бойынша зерттеулер мыналарды қамтиды: Химиялық активация- сілтілі ерітінділерді, мысалы, натрийді және органикалық қосылыстарды пайдалану вермикулитке негізделген сорбенттің сорбциялық сыйымдылығын арттырады. Натриймен модификациялау вермикулиттің құрылымындағы қабатаралық қашықтықты арттырады, ол лантан ионын адсорбциялайды. Натриймен модификациялау мақсатты ион алмасу сорбентін береді. Бутиламинмен модификациялау вермикулиттің бетінде қорғасын (II) және кадмий (II) сияқты ауыр металл иондарын адсорбциялайтын амин топтарын тудырады. Сондықтан модификацияланған вермикулиттің сорбциялық сыйымдылығы артады [8-11] .

Қышқылмен шаймалау - қышқылдарды пайдалану ақаулардың пайда болуына және беттік ауданының артуына әкеледі, бұл өз кезегінде вермикулиттің сорбциялық сыйымдылығын арттырады [12-14].

Қабатаралық кеңістіктерді модификациялау - қабатаралық катиондарды ауыстыру немесе хелаттаушы агенттерді енгізу вермикулиттің селективтілігі мен сорбциялық сыйымдылығын жақсартады [15-17].

Композициялық материалдар - полимерлермен немесе танин қышқылы сияқты басқа материалдармен вермикулиттік композициялық материалдарды синтездеу нәтижесінде кеуектілік, беріктік және сорбция сияқты жоғары қасиеттері бар сорбенттер алынады [18, 19].

Алайда, вермикулит негізіндегі сорбенттерді алудың қолданыстағы әдістерінде улы реагенттерді қолдану, жоғары температурада өңдеу және процестің ұзақтығы сияқты бірқатар кемшіліктер бар. Жоғарыда аталған факторлардың әсерін азайту үшін табиғи вермикулитті полимерленетін органикалық реагенттерді пайдаланып физика-химиялық өңдеуді, сондай-ақ түйіршіктердің бетіне тікелей ион алмасу шайырынан органикалық зат қабатын қалыптастыру ұсынылады. Осы жұмыста авторлар қолжетімді табиғи шикізат – вермикулитті физика-химиялық өңдеуден өткізіп, модификациялап және физика-химиялық өңдеуден өткен кешендерді полимерлі материалдардың бетіне енгізеді. Нәтижесінде жаңа модификацияланған ионалмасу сорбенттері алынды. Сорбенттерді синтездеу жұмсақ жағдайда эпоксидтік топтарды және жоғары реакциялық қабілетті комплекс түзетін заттарды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Бұл процесс көп уақыт пен улы реагенттерді пайдалануды талап етпейді. Жұмыстың мақсаты – ағынды суларды ауыр металдардан тазартуға арналған вермикулит негізіндегі органоминаралды тиімді және қолжетімді сорбентті әзірлеу.

## 2. Зерттеу нысандары мен әдістері

Органоминаралды сорбент синтезі қосытылған вермикулит, глицидилметакрилат (ГМА), акрилонитрил (АКН) және 85%-дық ортофосфор қышқылы негізінде жүргізіледі, мұнда массалық қатынас вермикулит:70%-дық ГМА:30%-дық АКН : ортофосфор қышқылы 1:0.35:0.15:1 тең. Қоспалық материал 300 Вт қуатты микротолқынды пешке 10 минутқа (температура 110 °С) қыздыру үшін орналастырылады. Алынған сорбент ГОСТ №10896 «Иониттер. Сынауға дайындау» стандартына сәйкес сынаққа дайындалды. Органоминаралды сорбенттің 0.1 н HCl ерітіндісіне қатысты статикалық алмасу сыйымдылығы (САС) ортофосфор қышқылының мөлшеріне сәйкес 4.70 мг-экв/г -нан 5.91 мг-экв/г – ға дейін жетті.

Вермикулит-ГМА-АКН- $H_3PO_4$  органоминаралды сорбентті синтездеу шарттары

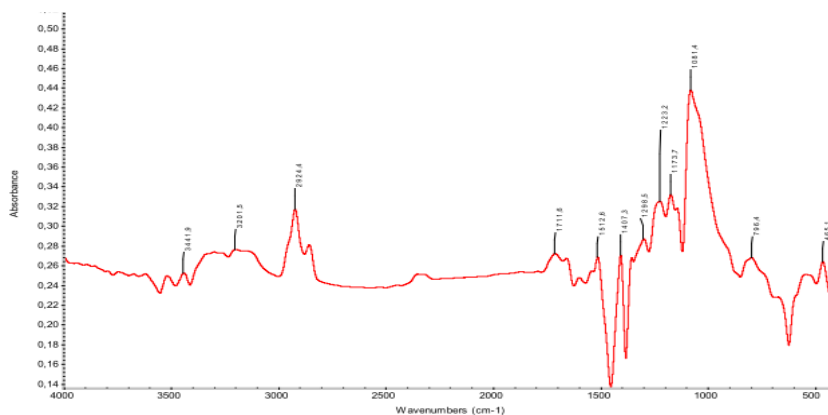
	Вер-мик улит	ГМА	АКН	85%-дық ортофосфор қышқылы	Микро-толқын қуаты, ват	Уақыт, мин	Температура, °С	САС, мг-экв/г
Тәжірибе 1	10	3.5	1.5	10	300	10	110	4.7
Тәжірибе 2	10	3.5	1.5	20	300	10	110	5.4
Тәжірибе 3	10	3.5	1.5	30	300	10	110	5.91

1-3 тәжірибелер нәтижесінде алынған органоминаралды сорбенттердің статикалық алмасу сыйымдылығы (САС) 85%-дық ортофосфор қышқылының мөлшеріне байланысты 0.1 н HCl бойынша 4.70 мг-экв/г тен 5.91 мг-экв/г аралығында болды.

## 3. Нәтижелер және оларды талқылау

Органоминаралды сорбенттерді эпоксидтік және фосфор топтарын табиғи шикізат — вермикулит бетіне отырғызу арқылы алынған сорбенттің (Вермикулит-ГМА-АКН- $H_3PO_4$ ) ИК-спектр деректері фосфор қышқылының ОН-топтары мен фосфор атомдары арасында ішкі молекулалық сутектік байланыс бар екенін растайды. Фосфор қышқылындағы P=O (1223; 1298  $cm^{-1}$ ), P-O-C (1081  $cm^{-1}$ ); P-O-CH<sub>3</sub> (1173  $cm^{-1}$ ), сондай-ақ гидроксильді ОН-топтары (1407  $cm^{-1}$ ; 3201; 3441  $cm^{-1}$ ) ИК-спектр жолағында көрінеді (сур. 1). P=O (1223; 1298  $cm^{-1}$ ), P-O-C (1081  $cm^{-1}$ ), P-O-CH<sub>3</sub> (1173  $cm^{-1}$ ) функционалдық топтарына сәйкес келетін толқын ұзындықтары фосфор топтарының вермикулит сорбентіне сәтті енгізілгенін көрсетеді. Бұл топтардың болуы модификацияланған сорбенттің фосфор қышқылына ұқсас сутектік байланыстар мен электростатикалық әсерлесулерге ие екенін көрсетеді. Гидроксиль топтары фосфор қышқылы молекулаларымен

сутектік байланыстар орнатуда маңызды рөл атқарып, сорбция процесіне ықпал етеді. Органоминералды сорбенттің құрылымындағы сутек және фосфор топтарының болуы молекулалық сутектік байланыстардың түзілуін жеңілдетеді. ГМА және АКН сополимері арқылы модификациялау вермикулит сорбентінің құрылымына қосымша функционалдық топтарды енгізіп, оның ионалмасу қабілетін арттырады.



Сурет 1 - Вермикулит-ГМА-АКН- $H_3PO_4$  органоминералды сорбентінің ИК-спектрі

Модификацияланған табиғи минералды шикізат (вермикулит), глицидилметакрилат сополимерлері және ортофосфор қышқылы синтезінің оңтайлы шарттарын анықтау үшін бастапқы реагенттердің ара қатынасының, температураның (микротолқынды қуаттылық) және процестің ұзақтығының статикалық алмасу сыйымдылығына әсері зерттелді.

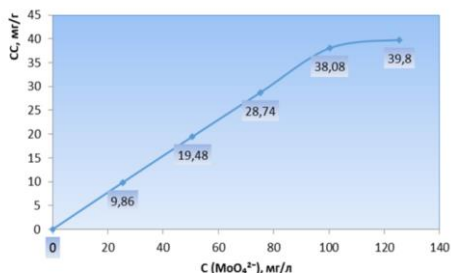
Осылайша, микротолқынды әдіс арқылы модификацияланған вермикулит, глицидилметакрилат сополимерлері және ортофосфор қышқылы негізінде синтездеудің оңтайлы шарттары Вермикулит-ГМА-АКН- $H_3PO_4$  компоненттерінің 1:0.35:0.15:3 арақатынасымен микротолқынды сәулелендіру арқылы анықталды. Нәтижесінде алынған органоминералды сорбенттің статикалық алмасу сыйымдылығы 0.1 н HCl ерітіндісі бойынша 5.91 мг-экв/г құрады (кесте).

### Молибдат иондарын ( $MoO_4^{2-}$ ) модельді ерітінділерден сорбциялау

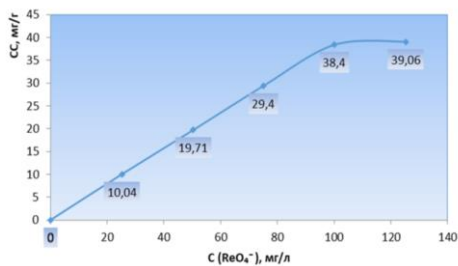
Ауыз суды тазарту, ауыр, көпвалентті және өтпелі металдар иондарын гидрометаллургияда, медицинада, тамақ өнеркәсібінде, су дайындауда, изотоптарды сорбциялау және концентрлеу, сондай-ақ мұнай төгінділерінің мәселелерін шешу үшін жаңа жоғары тиімді сорбенттер жасау мәселесі өзекті болып қалуда.

Вермикулит-ГМА-АКН- $H_3PO_4$  органоминералды сорбенттерінің  $MoO_4^{2-}$ ,  $ReO_4^-$  иондарына сорбциялық қасиеттері ерітінділердің концентрациясына байланысты зерттелді. Сорбцияға дейінгі және

сорбциядан кейінгі металл иондарының концентрациясы атомды-эмиссиялық спектрофотометрде өлшенді.

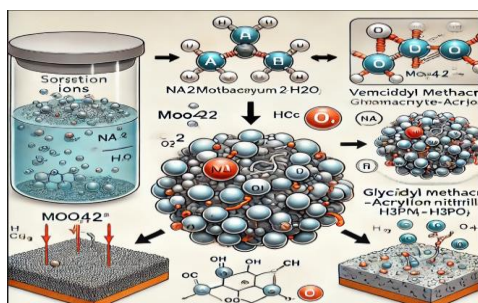


Сурет 2 - Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O тұзынан алынған MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> иондарының Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> органиноминералды сорбентімен сорбция изотермасы

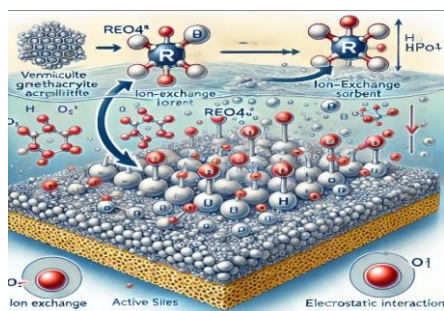


Сурет 3 - NH<sub>4</sub>ReO<sub>4</sub> тұзынан алынған ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> иондарының Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> органиноминералды сорбентімен сорбция изотермасы

2-ші және 3-ші суреттерде Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O тұзының сулы ерітіндісіндегі молибден (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) иондарымен NH<sub>4</sub>ReO<sub>4</sub> тұзынан алынған (ReO<sub>4</sub><sup>-</sup>) иондарының 0.05 г Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> негізіндегі органиноминералды сорбентпен сорбция изотермиясы көрсетілген. Ерітіндідегі молибден иондарының концентрациясының артуымен сорбенттің сорбциялық сыйымдылығы 9.86 мг/г-нан 39.8 мг/г-ға дейін артып, тұрақталады. Ал ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> иондары үшін сорбциялық сыйымдылықтың мәні 10.4 мг/г - нан 39.06 мг/г - ға дейін жетіп, максимум мәнін көрсетеді. Яғни екі ерітіндіде де металл (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ReO<sub>4</sub><sup>-</sup>) иондарының концентрациясын одан әрі арттыру 0.05 г Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> сорбенті үшін сорбциялық сыйымдылықты арттырмайды.



Сурет 4 - Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> сорбентімен MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> иондарының сорбция процесін суреттеу схемасы



Сурет 5 - Вермикулит-ГМА-АКН-Н<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> сорбентімен ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> иондарының сорбция процесін суреттеу схемасы

Молибден (VI) иондарының сорбция процесінің схемасын сипаттау үшін бірнеше негізгі элементтерді атауға болады (4 сурет): Ерітіндіде молибден (мысалы, MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) иондарының ерітіндідегі еркін күйі көрсетіледі.

Сорбент бетіндегі белсенді орталықтар бөлшек түрінде көрсетілуі мүмкін. Молибден иондары сорбенттің белсенді орталықтарымен байланысқа түседі. Оны сорбент бетіндегі иондардың қозғалысын көрсететін жебелер арқылы белгілеуге болады. Сорбент бетінде ионалмасу немесе электростатикалық әсерлесу жүруі мүмкін. Әсерлесу механизмдері ретінде - электростатикалық күштерді немесе химиялық байланыстарды атауға болады. Сорбциядан кейін молибден иондары сорбент бетінде тұрақтанады. Оларды сорбент бетінде байланысқан күйінде көрсетуге болады.

Рений иондарын ( $\text{ReO}_4^-$ )  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  тұзынан ерітіндіден Вермикулит-ГМА-АКН- $\text{H}_3\text{PO}_4$  сорбентімен сорбциялау процесі бірнеше негізгі химиялық кезеңдерді қамтиды (5 сурет):

$\text{NH}_4\text{ReO}_4$  тұзы суда ерігенде,  $\text{ReO}_4^-$  иондары ерітіндіге өтіп, еркін күйде болады.  $\text{ReO}_4^-$  иондары бар ерітінді сорбентпен байланысқа түскенде, сорбенттің  $[\text{Сорбент-PO}_4\text{H}]^+$  құрамындағы фосфат топтары  $\text{ReO}_4^-$  иондарымен иондық байланысқа түседі. Бұл уақытта  $\text{NH}_4^+$  иондары ерітіндіде қалып, жалпы зарядтың нейтралдылығын сақтайды. Сорбенттің негізгі белсенді орталықтары: су байланыстарын құра алатын ОН топтары және ерітіндідегі аниондармен ион алмасуға дайын фосфат топтары. Сорбенттің құрамындағы фосфат топтары  $\text{ReO}_4^-$  иондарымен электростатикалық әрекеттесу арқылы иондық кешендер түзе алады. Нәтижесінде,  $\text{ReO}_4^-$  иондары сорбент бетінде әлсіз байланысқан аниондарды ығыстырып, белсенді орталықтарда орнығады. Ионалмасу және электростатикалық әрекеттесу аяқталғаннан кейін,  $\text{ReO}_4^-$  иондары сорбент бетінде мықты байланысады. Сорбенттің фосфатты және гидроксилді топтары мен рений иондары арасында сутектік байланыстардың пайда болып, фосфат топтарының электростатикалық әрекеттесулер арқылы  $\text{ReO}_4^-$  иондарын ұстап тұру қабілеті артады. Процесті күрделілігіне қарамастан, оны келесідегідей жалпылама түрде жазуға болады:  $[\text{Сорбент-PO}_4\text{H}]^+ + \text{ReO}_4^- \rightarrow \text{Сорбент-PO}_4\text{H} \cdot \text{ReO}_4^-$ . Рений иондарын сорбциялау процесінің бірнеше негізгі химиялық кезеңдерін (5 сурет) қорытындылай келе келесідей сипаттама беруге болады: Мұнда толық ион алмасу емес,  $\text{ReO}_4^-$  ионы мен сорбенттің оң зарядталған бөлігі  $\text{Сорбент-PO}_4\text{H}^+$  арасындағы электростатикалық тартылыс процесі жүреді. Мұнда сорбент бетіндегі фосфат тобы ( $\text{PO}_4\text{H}$ ) сорбентке бекітілген оң орталықтың рөлін атқарады да  $\text{ReO}_4^-$  анионын электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы тартады. Мұнда біз белсенді орталықтарда рений иондарының адсорбциясын толық ионалмасу ғана емес, электростатикалық өзара әрекеттесу арқылы да жүретініндігін байқаймыз.

#### 4. Қорытынды

Қазіргі уақытта қолданылатын сорбенттердің көпшілігі импортталған, қымбат және әрқашан экологиялық таза емес. Сорбенттерді дамытудың негізі ретінде бірегей сорбциялық қасиеттері бар және олардың тиімділігін

арттыру үшін өзгертілуі мүмкін вермикулит сияқты табиғи минералдар таңдалды. Ортофосфор қышқылымен біріктірілген глицидилметакрилат және акрилонитрилді сополимерлерді қолдану жоғары тиімді сорбенттерді жасауға мүмкіндік береді. Зерттеулер нәтижесінде белгілі болғандай органоминералды сорбент алу процесі күрделі технологиялық жабдықты қажет етпейді және гидрометаллургиялық кәсіпорындарда тұрмыстық, өнеркәсіптік және ағынды сулардан рений және молибден иондарынан тазарту үшін қолданылуы мүмкін.

**Қаржыландыру.** Зерттеу жұмысы Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің 2024 жылға арналған ғылыми зерттеулерді мақсатты қаржыландыру бағдарламасы, №05-04/368 24.05.2024 ж. бұйрық бойынша "Минералдар негізінде жаңа жоғары өткізгіш ионалмасу материалдарының синтезі" тақырыбында ғылыми-зерттеу интеграциялық жобаларды іске асыру гранты шеңберінде жүзеге асырылды.

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

## СИНТЕЗ НОВЫХ ИОНООБМЕННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

\*Қ.А. Садықов<sup>1,2</sup>, Н.А. Бектенов<sup>1,2</sup>, Т.К. Чалов<sup>2</sup>, Н.С. Чинибаева<sup>1</sup>,  
Н.С. Жусипбекова<sup>1</sup>, А.К. Байдуллаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО "Казахский национальный педагогический университет имени Абая», Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

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

**Резюме.** Введение. По прогнозам ученых, нехватка питьевой и пресной воды может стать глобальной экологической проблемой. Решением этой проблемы могут стать экологически безопасные модифицированные сорбенты. В статье рассматривается синтез новых ионообменников с использованием природных ресурсов. На основе минерала вермикулита получен ионообменный сорбент для сорбции ионов металлов из водных ресурсов. Цель работы- Получение органоминерального сорбента на основе сополимеров вермикулита и эпоксиакрилата. Исследование сорбционных свойств полученного сорбента по отношению к ионам  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{ReO}_4^-$ . Методы: Синтез проводили в микроволновой печи при мощности 300 Вт за 10 минут, увеличивая массу ортофосфорной кислоты в 2 и 3 раза. Результаты и обсуждения: Полученный сорбент потенциально может использоваться в гидрометаллургии, при очистке хозяйственно-питьевых, промышленных и сточных вод от различных загрязнителей. Определены оптимальные условия модификации природного минерального сырья (вермикулита), сополимеров глицидилметакрилата и ортофосфорной кислоты. Статическая обменная емкость по раствору 0.1 н HCl органоминерального сорбента равна 5.91 мг-экв/г. Сорбционная емкость сорбента по отношению к ионам  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{ReO}_4^-$  исследована в зависимости от концентрации растворов. Заключение: Исследования показали, что органоминеральный сорбент обладает высокой сорбционной способностью для ионов  $\text{MoO}_4^{2-}$  которая составляет 39.8 мг/г, со степенью извлечения 94%, а для ионов  $\text{ReO}_4^-$  сорбционная емкость составляет 39.06 мг / г, со степенью извлечения 96%.

**Ключевые слова:** ионообменники, сорбционная емкость, сополимер эпоксиакрилата, модифицированный минерал, вермикулит, органоминеральный сорбент

---

Садықов Канат Амиркулович

научный сотрудник, преподаватель

---

Бектенов Несипхан Абжапарович

доктор химических наук, профессор

---

Чалов Толеген Каменович

доктор химических наук, профессор

---



<b>Чинибаева Нуржан Сарсенбаевна</b>	кандидат химических наук, старший преподаватель
<b>Жусипбекова Нурсулту Сарсеновна</b>	кандидат химических наук, старший преподаватель
<b>Байдуллаева Айнаи Кайратовна</b>	инженер, преподаватель

## References

11. Abdul G., Dhanasekar, Sathees K., Sankaran Elimination of nickel (II) ions using various natural/modified clay minerals: A review. *Mater. Today.*, **2021**, 37, P.2, 033-2040. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.500>
2. Song J., Park C., Kim C., Park C.W., Hong H.-J. Mechanically stable and highly permeable porous alumina foam with immobilized copper hexacyanoferrate (Cu-HCF@AF) for the removal of radioactive cesium (<sup>137</sup>Cs) from seawater. *Sep. Purif. Technol.*, **2025**, 353, PartB, 128504. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128504>
3. Mao J., Hong W., Li Q., Gao Y., Jiang Y., Li Y., Li B., Gao B., Xu X. The application strategies and progresses of silicon-based minerals in advanced oxidation processes for water decontamination. *Coord. Chem. Rev.*, **2024**, 511, 215871. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215871>
4. Worasith H., Goodman B. A. Clay mineral products for improving environmental quality. *Applied Clay Science*. **2023**, 242, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.106980>
5. Lujanieni G., Novikov R., Karalevičiute K., Pakstas V., Talaikis M., Levinskaitė L., Selskiene A., Selskis A., Mazeika J., Joksas K. Chitosan-minerals-based composites for adsorption of caesium, cobalt and europium. *J. Hazard. Mater.*, **2024**, 462, 132747. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132747>
6. Han B., He B., Geng R., Zhao X., Li P., Liang J., Fan Q. Ni (II) sorption mechanism at the vermiculite-water interface: Effects of interlayer. *J. Mol. Liq. Liquids.*, **2019**, 274, 362-369. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.10.153>
7. Dorsan S. Moraes, Elizabeth M.S. Rodrigues, Cláudio N. Lamarão, Gisele T. Marques, Augusto F.S. Rente. New sodium activated vermiculite process. Testing on Cu<sup>2+</sup> removal from tailing dam waters. *J. Hazard. Mater.*, **2019**, 366, 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.086>
8. Contino A., Maccarrone G., Zimbone M., Reitano R. Tyrosine capped silver nanoparticles: a new fluorescent sensor for the quantitative determination of copper (II) and cobalt (II) ions. *J. Colloid Interface Sci.*, **2016**, 462, 216–222, DOI: 10.1016/j.jcis.2015.10.008
9. Hashem F. S., Amin M. S., El-Gamal S. M. A. Chemical activation of vermiculite to produce highly efficient material for Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> removal. *Appl. Clay Sci.*, **2015**, 115, 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.07.042>
10. Liu Z., Wu S. & Mou R. Efficient removal of Cu (II) from aqueous solution using pyrolyzed oyster shells by Taguchi method. *Biomass Conv. Bioref.*, **2024**, 14, 1175–1186. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03884-9>
11. Ahmed Z., Wu P., Wu J., Lu B., Abbasi S. A., Rehman S., Zhang Z. Single and binary adsorption of lead and cadmium ions in aqueous solutions and river water by butylamine functionalized vermiculite: performance and mechanism. *Environ. Technol.*, **2022**, 44(19), 2924–2945. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2048085>
12. de Vargas Brião, G., Franco, D. S. P., da Silva, F. V., da Silva, M. G. C., Vieira, M. G. A. Critical rare earth metal adsorption onto expanded vermiculite: Accurate modeling through response surface methodology and machine learning techniques. *Sustain. Chem. Pharm.*, **2023**, 31, 100938. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100938>
13. Teğın, İ., Batur, M.Ş., Yavuz, Ö. *et al.* Removal of Cu (II), Pb (II) and Cd (II) metal ions with modified clay composite: kinetics, isotherms and thermodynamics studies. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, **2023**, 20, 1341–1356 <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04028-8>
14. Neves, H.S.d., da Silva, T.L., da Silva, M.G.C. *et al.* Ion exchange and adsorption of cadmium from aqueous media in sodium-modified expanded vermiculite. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2022**, 29, 79903–79919. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16841-8>

15. Bai, G., Luo, F., Zou, Y., Liu, Y., Wang, R., Yang, H., Zhang, Y. Effects of vermiculite on the growth process of submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* and sediment microecological environment. *J. Environ. Sci.*, **2022**, *118*, 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.038>

16. Stawiński, Wojciech Freitas, Olga Chmielarz, Lucjan Węgrzyn, Agnieszka Komadera, Kamila Błachowski, Artur Figueiredo, Sónia. The influence of acid treatments over vermiculite based material as adsorbent for cationic textile dyestuffs. *Chemosphere.*, **2016**, *153*, 115-129. [10.1016/j.chemosphere.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.004)

17. Melnikov, A. A., Gordina, N. E., Sinitsyn, A. P., Gusev, G. I., Gushchin, A. A., Rumyantsev, R. N. Investigation of the influence of mechanochemical effects on the structure and properties of vermiculite sorbents. *J. Solid State Chem.*, **2022**, *306*, 122795. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122795>

18. Sari A., Saleh T. A., Tuzen M. (2021). Development and characterization of polymer-modified vermiculite composite as novel highly-efficient adsorbent for water treatment. *Surf. Interface.*, **2021**, *27*, 101504. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101504>

19. Wang, S., Sun, H., Liu, H., Xi, D., Long, J., Zhang, L., Ling, Z. Novel vermiculite/tannic acid composite aerogels with outstanding CO<sub>2</sub> storage via enhanced gas hydrate formation. *Energy.*, **2024**, *289*, 130033. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130033>