

NEW ANION EXCHANGERS AND THEIR SORPTION PROPERTIES TOWARD CHROMIUM (VI) AND VANADIUM (V) IONS

*K.A. Sadykov^{1,2}, N.A. Bektenov^{1,2}, T.K. Chalov¹, K.T. Serikbayeva¹
F.Ye.Yerbolova¹, Ye.A. Kuznetsova¹,

¹JSC Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan

²NJSC "Abai Kazakh National Pedagogical University", Almaty, Kazakhstan

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

Abstract: *Introduction.* This study focuses on the synthesis of a novel anion-exchange material based on glycidyl methacrylate (GMA), methyl methacrylate (MMA), and acrylonitrile (AN), as well as on its ability to sorb heavy metal ions. The dependence of ion-exchanger properties on solution concentration, pH value, and contact time was investigated. *The purpose of the work:* To determine the structure, chemical stability, and optimal conditions for the efficient sorption of chromium (VI) and vanadium (V) ions by the new anion exchanger. *Results and discussions:* The optimal synthesis conditions were found to be 24 hours, a molar ratio of 1:6, and a temperature of 80 °C. The maximum sorption capacity was 509.2 mg/g for vanadium ions at pH 2.8 and 561.6 mg/g for chromium ions at pH 4.5. Kinetic studies showed that equilibrium was reached within 1 hour for vanadium and 2 hours for chromium. *Conclusion:* The new anion exchanger can be effectively applied in non-ferrous and ferrous metallurgy, as well as for the treatment of industrial wastewater from heavy metal ions.

Keywords: anion exchanger, sorption, chromium(VI), vanadium(V), copolymer, ion-exchange resin.

| | |
|---|---|
| <i>Kanat Amirkulovich Sadykov</i> | <i>Master of Chemistry; E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru</i> |
| <i>Nesiphan Abzhaparovich Bektenov</i> | <i>Doctor of Chemical Sciences; Professor; E-mail: bektenbna@gmail.com</i> |
| <i>Chalov Tolegen Kamenovich</i> | <i>Doctor of Chemical Sciences; Professor, E-mail: chalov.45@mail.ru</i> |
| <i>Serikbayeva Katira Turlykhanovna</i> | <i>Senior Researcher, PhD; E-mail: katira_87@mail.ru</i> |
| <i>Kuznetsova Yekaterina Alekseevna</i> | <i>Engineer; E-mail: katrinka-2000@mail.ru</i> |
| <i>Yerbolova Fatima Yerbolkyzy</i> | <i>Engineer; E-mail: yerbolovafatima@gmail.ru</i> |

Citation: Sadykov K.A., Bektenov N.A., Chalov T.K., Serikbayeva K.T., Erbolova F.Ye., Kuznetsova Ye.A. New anion exchangers and their sorption properties toward chromium (vi) and vanadium (v) ions. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 3(91), 123-133. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-3.2710-1185.41>

ЖАҢА АНИОНИТТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ХРОМ (VI) ЖӘНЕ ВАНАДИЙ (V) ИОНДАРЫНА ҚАТЫСТЫ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ**К.А. Садықов^{1,2}, Н.А. Бектенов^{1,2}, Т.К. Чалов¹, К.Т. Серикбаева¹, Е.А. Кузнецова¹, Ф.Е. Ерболова¹**¹«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

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

Түйіндемe. *Кіріспе.* Бұл зерттеу глицидилметакрилат (ГМА), метилметакрилат (ММА) және акрилонитрил (АКН) негізіндегі жаңа анион алмасушы материалдың синтезіне және оның ауыр металл иондарын сорбциялау қабілетіне арналған. Ионалмастырғыштардың қасиеттері ерітінді концентрациясына, рН мәніне және байланыс уақытына тәуелділігі зерттелді. *Жұмыстың мақсаты.* Жаңа аниониттің құрылымын, химиялық тұрақтылығын және хром (VI) мен ванадий (V) иондарын тиімді сорбциялау шарттарын анықтау. *Нәтижелер мен талқылаулар.* Зерттеу барысында синтездің оңтайлы шарттары анықталды: 24 сағат, 1:6 мольдік қатынас, 80 °С. Сорбциялық қасиеттері зерттеліп, ванадий иондары үшін рН 2.8 кезінде 509.2 мг/г және хром үшін рН 4.5 кезінде 561.6 мг/г тең максималды сорбциялық сыйымдылықты көрсетті. Кинетикалық зерттеулер ванадий иондары үшін тепе-теңдікке 1 сағатта, хром иондары үшін 2 сағатта жететіндігі анықталды. *Қорытынды.* Жаңа анионит түсті және қара металлургияда, сондай-ақ өндірістік ағын суларды ауыр металл иондарынан тазартуда тиімді қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: анионит, сорбция, хром(VI), ванадий(V), сополимер, ионалмастырғыш.

| | |
|---------------------------------------|--|
| <i>Садықов Қанат Амиркулович</i> | <i>химия ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер</i> |
| <i>Несіпхан Әбжапарұлы Бектенов</i> | <i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i> |
| <i>Чалов Тулеген Каменович</i> | <i>химия ғылымдарының докторы, профессор</i> |
| <i>Серикбаева Катира Турлыхановна</i> | <i>PhD</i> |
| <i>Ерболова Фатима Ерболқызы</i> | <i>инженер</i> |
| <i>Кузнецова Екатерина Алексеевна</i> | <i>инженер</i> |

1.Кіріспе

Ауыр металл иондарымен өнеркәсіптік ағынды сулардың ластануы қазіргі экологиялық қауіптердің алдыңғы қатарында тұр. Тау-кен өндірісі, металл өңдеу, химия, былғары және бояғыш өнеркәсібі сияқты салалар су көздеріне уытты элементтерді шығарып, олардың экожүйелерге және адам денсаулығына әсерін арттыруда [1].

Судағы ауыр металдарды жоюдың тиімді әдістерін әзірлеу – қоршаған ортаны қорғаудың негізгі міндеттерінің бірі. Соңғы жылдары модификацияланған глицидилметакрилат (ГМА) негізіндегі екілік немесе үштік сополимерлерді селективті сорбент ретінде пайдалану қарқынды зерттелуде. Бұл сополимерлер ауыр металл иондарын тиімді байланыстыратын және оларды сулы ерітінділерден шығаруға ықпал ететін хелаттаушы агенттер рөлін атқарады, осылайша қоршаған ортадағы улы заттардың деңгейін реттейді [2].

Хром қосылыстары ең уытты элементтердің қатарына жатады. Техногендік процестер кезінде қоршаған ортаға канцерогенді заттардың, соның ішінде хромның, негізгі көздері қара және түсті металлургия, машина жасау және энергетика кәсіпорындарының көпкомпонентті газ-тозаңды шығарындылары мен ағын сулары болып табылады. Алты валентті хром қосылыстары аса улы болып саналады және жалпы уытты әсерімен қатар адамға мутагендік ықпал жасап, мысалы, мұрын қуысы қатерлі ісігінің пайда болуына әкелуі мүмкін. Cr(VI) типтік метал-сенсбилизатор ретінде ұзақ жазылмайтын жаралар мен дерматоздарды туындатуға қабілетті [3].

Табиғи және техногендік суларда хром көбіне екі тотығу дәрежесінде кездеседі: Cr(III) және Cr(VI). Cr(III) аз мөлшерде биологиялық тұрғыдан маңызды элемент болса, Cr(VI) — жоғары ерігіштігі, қозғалғыштығы және канцерогендігімен ерекшеленеді [4].

Cr(VI) иондары жасуша мембранасынан HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ түрінде өтіп, жасуша ішінде Cr(III)-ке дейін тотықсызданады. Бұл процесс кезінде ДНҚ-ға аддукт түзетін реактивті аралық өнімдер пайда болып, генетикалық зақым келтіреді және қатерлі ісік тудыруы мүмкін [5].

Қазақстанда санитарлық-тұрмыстық судағы ШРК Cr(III) үшін — 0.5 мг/л, Cr(VI) үшін — 0.1 мг/л. Ақтөбе облысындағы зерттеулерде кейбір су айдындарында Cr мөлшерінің бұл шектен бірнеше есе асып түсуі анықталған [6].

Хромның негізгі антропогендік көздері: гальваникалық және металл өңдеу өндірісі; былғары және тоқыма өнеркәсібі; бояғыштар мен пигменттер өндіру; от басуға қарсы құрамдар және ағаш консерванттары [7].

Ванадий (V) қосылыстары экономиканың дамуы мен өнеркәсіптік өндірістің өсуіне байланысты ағынды суларды ластаушы негізгі факторлардың бірі болып отыр. Металлдың кең қолданылуы, соның ішінде кен өндіру, балқыту және қайта өңдеу процестері қоршаған ортаға ванадийдің түсуіне себепші.

Ванадий табиғи суларда көбіне тетра- (V(IV)) және пентавалентті (V(V)) күйінде кездеседі. V(V) су ортасында ванадат аниондары (H_2VO_4^- , HVO_4^{2-}) түрінде болады, олардың тұрақтылығы рН және иондық күшке тәуелді [8].

Қазақстандағы ауыз судағы ванадийдің ШРК — 0.1 мг/л [ГН 2.1.5.689-98]. Металлургия, энергетика, катализатор және пигмент өндірісі, кен-байыту қалдықтары оның негізгі көздеріне жатады [9].

Ванадий қосылыстарының уытты әсері: бауыр және бүйрек зақымдануы; жүйке жүйесіне кері ықпал; ұзақ әсер ету кезінде созылмалы интоксикация.

Су тазартуда қолданылып жүрген иониттердің қасиеттерінің біртіндеп нашарлауы, олардың табиғи органикалық және бейорганикалық қосылыстармен улануының салдары болып табылады және бұл құбылыс суды деминералдандыру үдерісінде ионалмастырғыш шайырларды пайдаланудағы негізгі технологиялық мәселелердің бірі саналады. Мұндай

аниониттер судың жоғары дәрежеде де минералдануын қамтамасыз ете алмайды және нәтижесінде өнеркәсіптік қалдықтарға айналады.

Cr (VI) және V (V) иондарын жоюда анионалмастырғыш шайырлар жоғары тиімділік көрсетеді. Күшті қышқылды аниониттер хроматтар мен дихроматтарға жоғары селективтілік танытып, судағы концентрацияны ≤ 1 мкг/л деңгейіне дейін төмендетуге қабілетті [10].

Ванадий (V) қосылыстарын ионалмастырғыш шайырларда (Purolite A830, S984, Lewatit MonoPlus SR7, Purolite A400TL, Dowex PSR2, PSR3) және микрокеукті сорбентте (Lewatit AF5) статикалық және колонналық әдістермен жойылуы зерттелді. Нәтижелер рН, адсорбент дозасы, жанасу уақыты мен элюирлеуші агенттердің концентрациясы сорбция тиімділігіне ықпал ететінін көрсетті, сондай-ақ күкірт қышқылы өндірісіндегі қалдық сулардан V (V) және Fe (III) иондарын жоюдың тиімділігі дәлелденді [11].

2. Тәжірибелік бөлім

ГМА, ММА және АКН негізіндегі үштік сополимерлер синтезі

Глицидилметакрилаттың (ГМА), метилметакрилаттың (ММА), акрилонитрилдің (АКН) сополимеризациясы ерітіндідегі радикалды полимеризация әдісімен жүргізіледі. Үш мойынды колбаға араластырғыш, жанаспа термометр және тамшылатып құюға арналған воронка орнатылып, массалық қатынасы 3.0 : 2.0 : 2.0 глицидилметакрилат (ГМА), метилметакрилат (ММА), акрилонитрил (АКН) мономерлерін салып, бензоил пероксидінің (мономер массасының 0.1%) диметилформаидтегі (ДМФА) ерітіндісі қосылады. Қоспа 90 °С температурада 1 сағат бойы қыздырылып, сұйық гель түзілгенше ұсталады да, этил спиртіңде тұндырылады. Осыдан кейін полимер гел ДМФА еріткішінде реакцияға түспеген мономерлерден тазарту үшін қайта ерітіліп, этил спиртіңде тұндырылады. ГМА–ММА–АКН сополимері вакуумдық кептіргіш шкафта бөлме температурасында тұрақты массаға дейін кептіріледі.

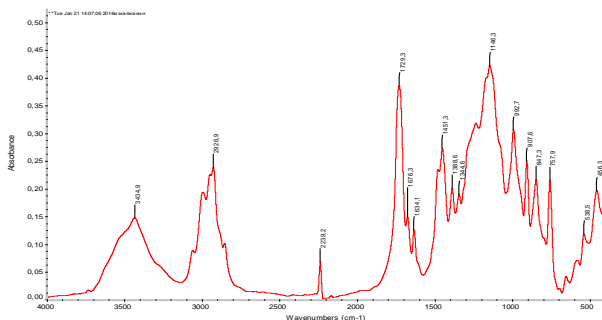
Үштік сополимерлер (ГМА–ММА–АКН) және ПЭИ негізіндегі аниониттер синтезі

Торланған үштік сополимерлердің (ГМА–ММА–АКН) полиэтиленминмен (ПЭИ) аминденуі органикалық еріткіште жүргізілді. Үш мойынды колбаға механикалық араластырғыш, термометр және тамшылатып құюға арналған воронка орнатылды. Колбаға аминнің өлшенді массасы салынып, оған біртіндеп органикалық еріткіштегі сополимер ерітіндісі тамшылатып қосылды. Қоспа қарқынды араластырыла отырып 80°С-қа дейін қыздырылды. Гель түзілгеннен кейін масса фарфор табақшаға түсіріліп, 120–130°С-та 10 сағат қатаюға қалдырылды. Содан соң ұнтақталып, еленіп, түйіршіктердің (0.25–1.00) мм фракциясы алынды. Анионит бірнеше рет еріткішпен жуылып, Соклет аппаратында этилспиртімен экстракцияланды (реакцияға түспеген заттарды жою үшін). 25–30 °С температурада вакуумда тұрақты массаға дейін кептірілді. Кейін

анионит 5 %-дық тұзқышқылы және натрий гидроксиді ерітінділерімен өңделіп, H^+ - формасынан OH^- -формасына ауыстырылды. Соңында сүзінді реакциясы бейтарап болғанша дистилденген сумен шайылды.

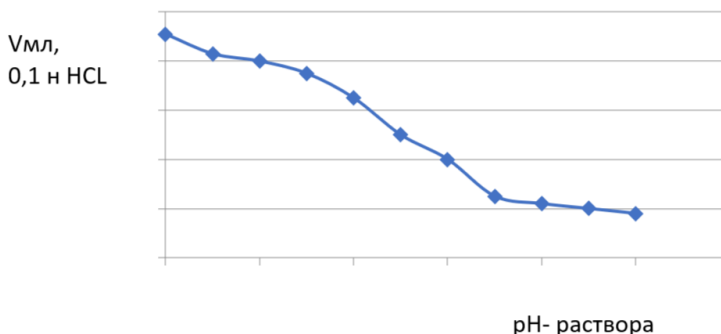
3. Нәтижелер және оларды талқылау

Анионит құрылымы ИК-спектроскопия әдісімен анықталды (сурет 1). Сополимерлердің спектрлеріндегі жұтылу жиіліктерін тағайындау бастапқы мономерлердің ИК-спектр деректеріне негізделді. ГМА спектрлерінде (сурет 1) эпоксициклдің C–O, C–C, C–H байланыстарының асимметриялық және симметриялық валенттік тербеліс жолақтары (760, 840, 910, 940, 1015, 1220, 3005 және 3065) cm^{-1} -де байқалады. 1640 cm^{-1} -дегі жұтылу жиілігі қосбайланыстың валенттік тербелісіне сәйкес келеді. 2239 cm^{-1} аймағындағы жұтылу жолақтары $-C\equiv N$ цианид тобының валенттік тербелістеріне тән.



Сурет 1 – Үштік сополимердің (ГМА–ММА–АКН) ИҚ-спектрі.

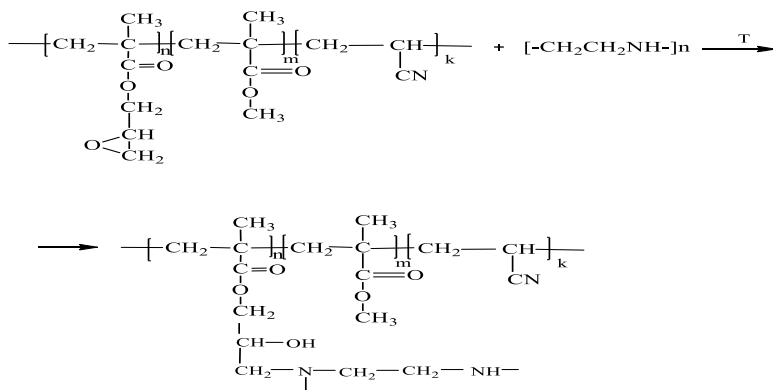
Белсенді топтардың функционалдылығы мен диссоциация дәрежесін анықтау үшін иониттердің потенциметриялық титрлеу қисықтары алынды (сурет 2).



Сурет 2 - (ГМА–ММА–АКН) –ПЭИ анионитінің потенциметриялық титрлеу қисықтары.

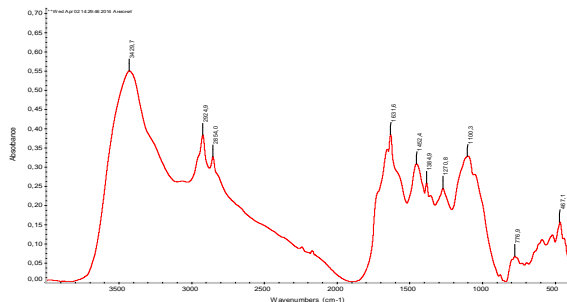
Потенциометриялық титрлеу деректері бойынша ионит орташа негізді полифункционалды ионалмастырғыштар қатарына жатады. Бұл қасиет иониттегі амин топтарының сапалық құрамымен түсіндіріледі.

Сұлба 1. Үштік сополимердің (ГМА–ММА–АКН) және олардың негізіндегі аниониттің (ГМА–ММА–АКН)–(ПЭИ) болжамды құрылымдық формуласы.



ГМА–ММА–АКН сополимерін аминдеуден кейін аниониттің ИК-спектрлерінде эпокси топтарға тән (750, 850, 912, 1000, 1250, 3012 және 3075) см⁻¹ жолақтары жойылып, олардың орнына амино- және гидроксил топтарына тән (1500–1650, 3310–3350, 1310, 1420) см⁻¹ жаңа жолақтар пайда болды (сурет 3).

ИК-спектр деректері ОН тобы мен үшіншілік амин тобының азот атомдары арасында молекулаішілік сутектік байланыстар бар екенін растады. Сонымен қатар, 1040–1060 см⁻¹ аймағында көміртек қаңқасына және үшіншілік амин топтарына байланысқан ОН топтарының деформациялық тербелістеріне сәйкес жолақтар байқалады. Эпоксициклдің аминдермен ашылуы нәтижесінде түзілетін екіншілік спирттік ОН топтарының жазықтықтық деформациялық тербелістері 1310–1330 және 1410–1420 см⁻¹-де тіркелді.



Сурет 3 - (ГМА–ММА–АКН–ПЭИ) анионитінің ИК-спектрі.

Торланған полиэлектролиттер синтезінің оңтайлы шарттарын айқындау мақсатында реакциялаушы компоненттердің табиғаты мен концентрациясының, температура мен қатаю ұзақтығының анионалмастырғыш полимерлер қасиеттеріне әсері зерттелді.

ГМА–ММА–АКН сополимері негізіндегі аниониттерді алудың ең оңтайлы режимі – компоненттердің (1:6) қатынасы, 80 °С температура және 10 сағат қатаю уақыты болып табылады.

Таблица 1 – ГМА–ММА–АКН сополимері негізіндегі аниониттерді алудың ең оңтайлы режимі

| Массалық қатынас (сополимер: ПЭИ) | t°, С | τ, сағат | Шығым η, % | САС, 0.1 н NaOH ерітіндісі бойынша, мг-экв/г |
|-----------------------------------|-------|----------|------------|--|
| 1.0:6.0 | 80 | 10 | 80 | 6.90 |

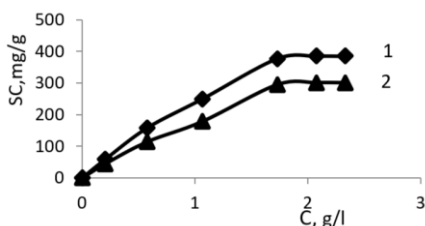
Ванадий (V) және хром (VI) иондарын ГМА–ММА–АКН : ПЭИ негізіндегі анионитпен сорбциялау

Сорбциялық қасиеттері статикалық жағдайда, мерзімді араластыру арқылы, сорбент : ерітінді қатынасы 1:400 болғанда, бөлме температурасында (20±2 °С) полярография әдісімен жүргізілді. Модельдік ерітінділерді дайындау үшін «х.ч.» маркалы NH₄VO₃ (рН 6.4) және K₂Cr₂O₇ (рН 4.5) тұздары қолданылды. Сорбент – ерітінді арасындағы жанасу уақыты 7 тәулікке тең болды.

Сорбциялық сыйымдылық (СС) бастапқы және тепе-теңдік концентрацияларының айырмасы бойынша есептелді. Концентрациялар классикалық полярография әдісімен анықталды:

$$CC = \frac{(c_0 - c_p) \cdot V}{m} \quad (3),$$
 мұнда c_0 және c_p ерітіндідегі металдың бастапқы және тепе-теңдік концентрациялары, г/л; V – ерітіндінің көлемі, л; m – құрғақ иониттің салмағы, г.

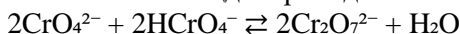
Ионалмастырғыштарды тәжірибелік мақсатта қолдану үшін металл иондарының сорбциясын үдеріс шарттарына байланысты зерттеу қажет. Хром (VI) және ванадий (V) иондарын бөліп алу көбіне ерітінділердің концентрациясына, қышқылдығына, сондай-ақ ионалмастырғыштардың кинетикалық белсенділігіне тәуелді.



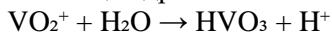
Сурет 4 – NH₄VO₃ (рН 6.4) және K₂Cr₂O₇ (рН 4.5) ерітінділерінен ГМА–ММА–АКН : ПЭИ анионитімен ванадий (V) (1) және хром (VI) (2) иондарын сорбциялау изотермалары. Байланыс уақыты – 7 тәулік.

Сурет 4-тен көрініп тұрғандай, NH_4VO_3 ерітінділеріндегі ванадий мөлшері 0.2 г/л -ден 2.0 г/л-ге артқанда, ГМА–ММА–АКН : ПЭИ анионитінің ванадий иондары бойынша сорбциялық сыйымдылығы (СС) 70.4-тен 385.2 мг/г-ға дейін өседі. Ал $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ерітінділеріндегі хром концентрациясы 0.2 г/л -ден 2.03 г/л-ге көбейгенде, хром (VI) иондары бойынша АС 38.4-тен 236.6 мг/г-ға дейін артады.

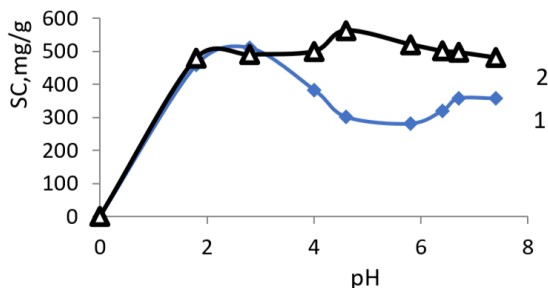
Көпвалентті металл иондарының сорбциясына олардың ерітіндідегі күйі айтарлықтай әсер етеді. Хром құрамды ерітінділерде хром (VI) иондарының концентрациясы мен ерітінді қышқылдығына қарай CrO_4^{2-} , HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ аниондары түзілуі мүмкін, олардың арасында мынадай жылжымалы тепе-теңдік орнайды:



Ерітіндінің рН мәніне және ванадийдің жалпы концентрациясына байланысты конденсация дәрежесі де өзгереді. Өте сілтілі және күшті қышқылды ортада мономерлі түрлері болады. $\text{V(V)}\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$ жүйесінде әлсіз қышқылды ерітінділерде ванадий тепе-теңдіктегі моно- және полимерлі түрлері де кездеседі: VO_2^+ , $[\text{H}_2\text{V}_{10}\text{O}_{28}]^{4-}$ (рН 2.0–3.0) және $[\text{HV}_{10}\text{O}_{28}]^{5-}$ (рН 3.0–5.5). Нейтралды ванадий түрі HVO_3 ванадил-катионының гидролизі нәтижесінде түзіледі:



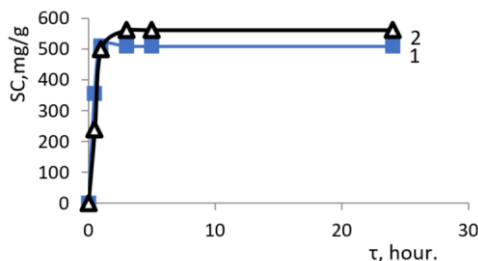
Концентрациясы $10^{-1}\text{--}10^{-4}$ г/л аралығында болғанда, моноядролы бөлшектер ванадийдің тек қышқылды (рН<2) және күшті сілтілі (рН>12) ерітінділерінде ғана кездеседі. Декаванадий қышқылы $\text{H}_6\text{V}_{10}\text{O}_{28}$ су ерітінділерінде оңай 4 протон бөледі және рН 2–6 аралығында болады. рН 5–7 кезінде декаванадат-иондары метаванадат-иондарымен бірге кездеседі. Сондықтан V (V) иондарының ерітіндідегі күйінің өзгеруі олардың аниониттегі сорбция сипатына ықпал етуі мүмкін.



Сурет 5 – NH_4VO_3 және $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ерітінділерінен ГМА–ММА–АКН: ПЭИ анионитімен ванадий (V) (1) және хром (VI) (2) иондарын сорбциялаудың орта қышқылдығына және байланысу уақытына (7 тәулік) тәуелділігі.

рН мәні 1.8-ден 5.1-ге дейін артқанда, хром иондары бойынша СС өсіп, рН 4.5 кезінде ең жоғары мәні 561.6 мг/г-ға жетеді (сурет 5, 2-ші қисық).

Метаванадат-иондарының ең жоғары сорбциясы рН 2.8 кезінде байқалады, бұл кезде АС 509.2 мг/г (сурет 5, 1-ші қисық). рН 5.8–6.4 аралығында ванадий (V) иондары бойынша СС 254.4 мг/г-ға дейін төмендейді. рН 6.4–7.4 аралығында ГМА–ММА–АКН : ПЭИ ионалмастырғышының сорбциялық белсенділігі тұрақты болып қалады (356.4 мг/г).



Сурет 6 – NH_4VO_3 ($C = 2.0$ г/л, рН 2.8) және $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($C = 2.1$ г/л, рН 4.5) ерітінділерінен ГМА–ММА–АКН : ПЭИ анионитімен ванадий (V) (1) және хром (VI) (2) иондарын сорбциялаудың кинетикалық қисықтары.

ГМА–ММА–АКН : ПЭИ анионитінің кинетикалық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде ванадий (V) иондарын сорбциялауда тепе-теңдік күйі 1 сағатта орнайтыны анықталды (сурет 6). Ал Cr (VI) иондары үшін, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ерітіндісінде ($C = 2.1$ г/л, рН 4.5), тепе-теңдік күйге жету уақыты 2 сағатты құрайды. Салыстырмалы түрде, тиомочевина, эпихлоргидрин және полиэтиленполиамин негізіндегі анионитте ванадий бар ерітіндімен тепе-теңдік орнау уақыты 7 сағаттан асады [12].

4. Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде ГМА–ММА–АКН : ПЭИ анионитінің хром (Cr^{6+}) және ванадий (V) иондарын модельдік ерітінділерден сорбциялау қабілеті мен кинетикалық сипаттамалары жүйелі түрде зерттелді. Сорбциялық процестердің изотермалары, рН-қа тәуелділігі және тепе-теңдік орнау уақыты анықталды. Оптималды сорбция шарттары – бастапқы концентрация, қышқылдық орта және байланысу уақыты – белгіленіп, Cr^{6+} үшін рН = 4.5 кезінде 561.6 мг/г, V(V) үшін рН = 2.8 кезінде 509.2 мг/г сорбциялық сыйымдылығы тіркелді. Алынған деректер жаңа анион алмастырғыштың сорбциялық және кинетикалық қасиеттері өнеркәсіптік жоғары негізді аниониттермен салыстырғанда анағұрлым жоғары екенін көрсетті. Бұл артықшылықтар оның түсті және қара металлургияда, сондай-ақ өндірістік ағын суларды ауыр металл иондарынан, соның ішінде хром (VI) және ванадий (V) иондарынан тиімді тазалау технологияларында қолданылу әлеуетін дәлелдейді.

Қаржыландыру және алғыс: Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті BR27101179 бағдарламасы бойынша іске асыратын 2025-2026 жылдарға арналған ғылыми зерттеулерді нысаналы қаржыландыру бағдарламасы шеңберінде

(келісім шарт №34/ПЦФ-25-26 05.02.2025 ж) орындалды. Бағдарламаның ғылыми жетекшісі Тасибеков Х. С., бағдарлама тақырыбы: (ИРН BR27101179) "Инновациялық экологиялық қауіпсіз көпфункционалды химиялық өнімдер мен материалдарды алудың іргелі негіздері"

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

НОВЫЕ АНИОНИТЫ И ИХ СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ ХРОМА (VI) И ВАНАДИЯ (V)

К.А. Садықов^{1,2}, Т.К. Чалов¹, Н.А. Бектенов^{1,2}, К.Т. Серикбаева¹,
Е.А. Кузнецова¹, Ф.Е. Ерболова¹

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

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

Резюме. Введение. Данное исследование посвящено синтезу нового анионообменного материала на основе глицидилметакрилата (ГМА), метилметакрилата (ММА) и акрилонитрила (АКН), а также изучению его способности к сорбции ионов тяжелых металлов. Изучена зависимость свойств ионообменников от концентрации раствора, значения pH и времени контакта. **Цель работы.** Определить структуру, химическую устойчивость нового анионита и оптимальные условия эффективной сорбции ионов хрома (VI) и ванадия (V). **Результаты и обсуждение.** Оптимальные условия синтеза составляют: 24 часа, мольное соотношение 1:6, температура 80 °С. Сорбционная емкость анионита достигала максимума для ионов ванадия — 509.2 мг/г при pH 2.8 и для ионов хрома — 561.6 мг/г при pH 4.5. Кинетические исследования показали, что равновесие устанавливается через 1 ч для ванадия и через 2 ч для хрома. **Вывод.** Новый анионит может эффективно применяться в цветной и черной металлургии, а также для очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: анионит, сорбция, хром(VI), ванадий(V), сополимер, ионообменник.

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Садықов Қанат Амиркулович | магистр химических наук |
| Несіпхан Әбжанарұлы Бектенов | доктор химических наук, профессор |
| Чалов Тулеген Каменович | доктор химических наук, профессор |
| Серикбаева Катира Турлыхановна | PhD |
| Ерболова Фатима Ерболқызы | инженер |
| Кузнецова Екатерина Алексеевна | инженер |

References

1. Prasad S. et al. Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *J. Environ. Manag.* **2021**, Vol. 285, 12174. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.112174
2. Bektenov N.A., Baidullayeva A.K., Jumadilov T.K., Sadykov K.A. Modified adsorbents based on glycidyl methacrylate copolymers for the removal of copper and lead ions from wastewater. *Eng. sci.* **2024**, T. 31, 1237. DOI:10.30919/es1237
3. Kerur S. S. et al. Removal of hexavalent Chromium-Industry treated water and Wastewater: A review. *Mater. Today: Proc.* **2021**, Vol. 42, 1112–1121. DOI:10.1016/j.matpr.2020.12.492
4. Zhitkovich A. Chromium in drinking water: sources, metabolism, and cancer risks. *Chem Res Toxicol.* **2011**, Vol. 24(10), 1617–1629. DOI:10.1021/tx200251t
5. Sun H., Brocato J., Costa M. Oral chromium exposure and toxicity. *Curr. Environ. Health Rep.* **2015**, Vol. 2(3), 295–303. DOI:10.1007/s40572-015-0054-z
6. Салыбекова В.С. Гидрогеологические и гидрогеохимические аспекты очистки подземных вод от загрязнения шестивалентным хромом. Дис. ...д-ра философии : 6D075500 - Гидрогеология и

инженерная геология. Каз. нац. исследовательский техн. ун-т им. К. И. Сатпаева.– Алматы , **2017**. 134.

7. Georgaki M. N. et al. Chromium in water and carcinogenic human health risk. *Environments*. – 2023. – Vol. 10(2). – 33. DOI:10.3390/environments10020033

8. Krakowiak J., Lundberg D., Persson I. A coordination chemistry study of hydrated and solvated cationic vanadium ions. *Inorg. Chem.* **2012**. Vol. 51(18), 9598–9609. DOI: 10.1021/ic300202f

9. Gomes H. I. et al. Vanadium removal and recovery from bauxite residue leachates by ion exchange. *ESPR*. **2016**. Vol. 23(22), 23034–23042. DOI: 10.1007/s11356-016-7514-3

10. Flint L. C., Arias-Paíc M. S., Korak J. A. Removal of hexavalent chromium by anion exchange: non-target anion behavior and practical implications. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* **2021**. Vol. 7(12), 2397–2413. DOI: 10.1039/D1EW00382H

11. **Wolowicz, A.** *Vanadium (V) Removal from Aqueous Solutions and Real Waste waters Using Ion Exchange Resins. Molecules*, **2022**, Vol. 27, No. 17, DOI: 10.3390/molecules27175432.

12. Н.А., Ширинов Ш.Д., Джалилов А.Д., Эшкурбонов Ф.Б. Исследование скорости сорбции ванадия анионитами на основе тиомочевины и эпихлоргидрина. «Наука вчера, сегодня, завтра»: сб. статей по материалам VII Международной научно-практ конф. Новосибирск. **2013**. 4