

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

ISSN: 2224-5286 (Print)
ISSN: 2518-1491 (Online)

**№3
2026**

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

3 (468)

JULY – SEPTEMBER 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

ROSS Samir, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ23VPY00121156**, issued 05.06.2025

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХФАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы" АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, АҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arithv>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО «Научно-производственного центра» Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛЫТАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Ахсана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серик Драгметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPY00121156 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

Abdugaliyev A.Sh., Jalmakhanbetova R.I., Mukusheva G.K. Atomistic insight into solvent effects on the chemical structure of betulonic acid.....	11
Assembayeva E.K., Shadi D.K., Nurmukhanbetova D.E., Bozhbanov A.Zh., Gabdullina E.Zh. Effect of inulin on the quality characteristics of a fermented cheese whey-based beverage	25
Asylbekova D.D., Toktibayeva Kh.R., Kaldybayeva A.R., Zhurkhabayeva L., Tukibayeva A.S. Electrochemical behavior of phosphorous acid on a platinum electrode and its galvanostatic anodic oxidation using a lead anode	39
Auyeshov A.P., Yeskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dzholdasova E.M. Investigation of the adsorption characteristics of silica obtained from serpentinite by a combined acid–alkali method	58
Galymzhan A., Kozhabekov S., Kuanyshev A., Sansyzbay N., Abdrasilova A. Effect of octadecyl methacrylate–maleic anhydride copolymer composition on crude oil rheological properties	78
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R. Investigation of the structural properties of nanocellulose membranes derived from agricultural waste	95
Dmitriyeva E.A., Medvedev A., Kemelbekova A. Development of a low-temperature gas sensor based on SnO ₂ thin films and a precision measurement system for high-resistance detection	109
Dzheldybaeva I.M., Kairbekov Zh., Esenalieva M.Z., Dossumova B.T., Suimbaeva S.M. Influence of ultrasonic treatment on the structure and physicochemical properties of brown coal humic acids	125
Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A. Features of heavy metal ion sorption by interpolymer systems formed from homogeneous polyelectrolytes	140
Zhylybek M., Orazbekova R.S., Yerkibaeva M.K., Aidarova A.O., Baizhumanova T.S. Co–Mg oxide catalysts for deep oxidation of methane: synthesis, structure, and catalytic activity.....	154
Imangaliyeva B., Rakhmetova G., Dossanova B., Sovet N. Technology of biological fertilizer production by hydrolysis treatment of polymer waste.....	169
Karar M.E., Beisenbayev O.K., Alibekov R.S., Shamsudin R. Starch extraction from Baidaly rice and Gala potatoes for application in biodegradable materials.....	186
Kudaibergenova G.N., Azimbayeva G.E., Kamysbayeva A.K., Izteleu B.M., Kurbanbayeva N.M. Fatty acid composition of <i>Helianthus tuberosus</i> flowers	204
Massenova A.T., Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Malgazhdarova M.K. Tuning of surface acidity in Zn–Me-modified shaped ZSM-5–Al ₂ O ₃ alkylation catalysts.....	219
Nurislamov R.M., Nefedov A.N., Beissenbayev D.K., Leontyeva X.A., Imashev B.K. Effect of oxide films on the corrosion resistance of iron: modeling in COMSOL Multiphysics 6.2.....	238

Nurlybayev O., Kudaibergenova R., Taubayeva R., Bekaulova A., Seitmanbetova A. Textural properties of bentonite–sawdust carbon composites after metal-chloride-assisted carbonization.....	250
Puzikova D.S., Bessonova G.V., Kenzin N.R., Zhurinov M.Zh., Torlopov I.I. Modeling cavitation of oil-containing media in various hydrodynamic configurations.....	263
Rakhimov A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Sarsenbaev B. Calculation of the raw material composition for cement clinker with the addition of lead slag processing waste.....	285
Ryskalieva D., Baibulanova A., Yessenamanova M., Mustafina A., Samat A. Hydrogen sulfide pollution in the atmosphere of an industrial city: the potential role of evaporation fields (Atyrau, Kazakhstan)	299
Serikbayeva K.T., Chalov T.K., Sadykov K.A. Rubidium sorption from aqueous solutions by VEMEA–AGE–PEI anion exchangers.....	322
Seitkazinova A.R., Nazhipkyzy M., Yeleuov M.A., Zhaparov A.A., Kalybayeva A.K. Orange peel-derived porous activated carbon	334
Samadun A.I., Taussarova B.R., Asrakulova D.I., Nurmukhanbetova D.E. Biodegradable packaging films with copper nanoparticles: effect of NaBH ₄ concentration on morphology and antifungal properties	351
Khamitova T.O., Tyanakh S., Bolatbay A.N., Ma Fengyun, Aitbekova D.E. Linking geological genesis to the molecular and optical traits of humic acids from coal wastes.....	370
Talgatov E., Zamanbekova A., Abilmagzhanov A., Auyezkhanova A., Akhmetova S. Polymer-modified supported catalysts for the oxidation of cyclohexane with hydrogen peroxide.....	389

МАЗМҰНЫ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К.

Бетулон қышқылының химиялық құрылымына еріткіштер әсерін атомистикалық тұрғыдан зерттеу11

Асембаева Э.К., Шәді Д.Қ., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж.

Инулиннің ірімшік сарысуы негізіндегі ашытылған сусынның сапа көрсеткіштеріне әсері.....25

Асылбекова Д.Д., Токтыбаева Х.Р., Қалдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Түкібаева А.С.

Фосфорлы қышқылдың платина электродындағы электрохимиялық қасиеттері және оны қорғасын анодын қолданып гальваностатикалық анодты тотықтыру.....39

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М.

Қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен серпентиниттен алынған кремнеземнің адсорбциялық сипаттамаларын зерттеу58

Ғалымжан А., Қожабеков С., Қуанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А.

Октадецилметакрилат пен малеин ангидридi сополимерлері құрамының мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері78

Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Агроқалдықтардан алынған наноцеллюлозалы

мембраналардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.....95

Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А.

SnO₂ жұқа қабықшалары негізіндегі төмен температуралы газ сенсорын және жоғары кедергілерді тіркеуге арналған прецизионды өлшеу жүйесін әзірлеу.....109

Джелдыбаева И.М., Қайырбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М.

Ультрадыбыстық өңдеудің қоңыр көмір гумин қышқылдарының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсері.....125

Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Иманғазы А.

Біртекті полиэлектролиттерден құрылған интерполимерлік жүйелердің ауыр металл иондарын сорбциялау ерекшеліктері.....140

Жылқыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжұманова Т.С.

Метанды терең тотықтыруға арналған Co–Mg оксидті катализаторлар: синтезі, құрылымы және каталитикалық белсенділігі.....154

Иманғалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н.

Полимер қалдықтарын гидролиздік өңдеу арқылы биологиялық тыңайтқыш алу технологиясы.....169

Қарар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин.

Байдалы күрішпен және Гала сортты картоптан крахмал алу және оны биоыдырайтын материалдарда қолдану.....186

Құдайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Ізтелеу Б.М., Құрбанбаева Н.М.

Топинамбур гүлдерінің май қышқылдық құрамы204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Zn–Me-модификацияланған қалыпталған ZSM-5–Al ₂ O ₃ алкилдеу катализаторларының беттік қышқылдығын реттеу.....	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Темірдің коррозияға төзімділігіне оксидтік қабықшалардың әсері: COMSOL Multiphysics 6.2 бағдарламасында модельдеу.....	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Металл хлоридтері қатысында карбонизацияланған бентонит–ағаш үгіндісі көміртекті композиттерінің текстуралық қасиеттері.....	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Жұрынов М.Ж., Торлопов И.И. Өртүрлі гидродинамикалық конструкциялардағы мұнай құрамды орталардың кавитация процесін модельдеу	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сәрсенбаев Б. Қорғасын қожын өндеу қалдықтары қосылған цемент клинкерінің шикізат шихтасының құрамын есептеу	285
Серікбаева К.Т., Чалов Т.К., Садықов К.А. Сулы ерітінділерден рубидийді ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ аниониттерімен сорбциялау.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипқызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Қалыбаева А.Қ. Апельсин қабығынан алынған кеуекті белсендірілген көмір.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмұханбетова Д.Е. Мыс нанобөлшектері бар биоыдырайтын қаптамалық үлдірлер: NaBH ₄ концентрациясының морфологияға және саңырауқұлаққа қарсы қасиеттеріне әсері.....	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Көмір қалдықтарынан бөлінген гумин қышқылдарының геологиялық генезисі мен молекулалық және оптикалық қасиеттерінің байланысы	351
Рысқалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мұстафина А.Ж., Самат А.С. Өнеркәсіптік қала атмосферасының күкіртсутекпен ластануы: булану алаңдарының ықтимал рөлі (Атырау, Қазақстан)	370
Талғатов Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Әуезханова А.С., Ахметова С.Н. Циклогександы сутек пероксидімен тотықтыруға арналған полимермен модификацияланған тасымалдағышқа бекітілген катализаторлар	389

СОДЕРЖАНИЕ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К. Атомистическое исследование влияния растворителей на химическую структуру бетулоновой кислоты.....	11
Асембаева Э.К., Шади Д.К., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж. Влияние инулина на показатели качества ферментированного напитка на основе сырной сыворотки	25
Асылбекова Д.Д., Токтибаева Х.Р., Калдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Тукибаева А.С. Электрохимическое поведение фосфористой кислоты на платиновом электроде и её гальваностатическое анодное окисление с использованием свинцового анода.....	39
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М. Исследование адсорбционных характеристик кремнезёма, полученного из серпентинита комбинированным кислотно-щелочным методом	58
Галымжан А., Кожабеков С., Куанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Влияние состава сополимеров октадецилметакрилата и малеинового ангидрида на реологические свойства нефти	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Исследование структурных свойств наноцеллюлозных мембран, полученных из агроотходов.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. Разработка низкотемпературного газового сенсора на основе тонких плёнок SnO_2 и прецизионной измерительной системы для регистрации высокоомных сопротивлений.....	109
Джелдыбаева И.М., Каирбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М. Влияние ультразвуковой обработки на структуру и физико-химические свойства гуминовых кислот бурого угля	125
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А. Особенности сорбции ионов тяжёлых металлов интерполимерными системами, сформированными из однородных полиэлектролитов.....	140
Жылкыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжуманова Т.С. Co–Mg оксидные катализаторы для глубокого окисления метана: синтез, структура и каталитическая активность	154
Имангалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н. Технология получения биологического удобрения путём гидролизной обработки полимерных отходов	169
Карар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин. Получение крахмала из риса «Байдалы» и картофеля сорта «Гала» и его применение в биоразлагаемых материалах	186
Кудайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Изтелеу Б.М., Курбанбаева Н.М. Жирнокислотный состав цветков топинамбура	204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Регулирование поверхностной кислотности Zn–Me-модифицированных формованных ZSM-5–Al ₂ O ₃ катализаторов алкилирования	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Влияние оксидных плёнок на коррозионную стойкость железа: моделирование в COMSOL Multiphysics 6.2	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Текстурные свойства бентонит–углеродных композитов после карбонизации в присутствии хлоридов металлов	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Журинов М.Ж., Торлопов И.И. Моделирование процесса кавитации нефтесодержащих сред в различных гидродинамических конструкциях.....	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сарсенбаев Б. Расчёт состава сырьевой шихты для цементного клинкера с добавлением отходов переработки свинцового шлака	285
Серикбаева К.Т., Чалов Т.К., Садыков К.А. Сорбция рубидия из водных растворов анионитами ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипкызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Калыбаева А.К. Пористый активированный углерод, полученный из апельсиновой кожуры.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмуханбетова Д.Е. Биоразлагаемые упаковочные плёнки с наночастицами меди: влияние концентрации NaBH ₄ на морфологию и антигрибковые свойства	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Связь геологического генезиса с молекулярными и оптическими характеристиками гуминовых кислот из угольных отходов	351
Рыскалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мустафина А.Ж., Самат А.С. Загрязнение атмосферы промышленного города сероводородом: потенциальная роль полей испарения (Атырау, Казахстан)	370
Талгатова Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Ауезханова А.С., Ахметова С.Н. Полимер-модифицированные нанесённые катализаторы окисления циклогексана пероксидом водорода	389

© **Jumadilov T.K., Khimersen Kh.*, Imangazy A., 2026.**

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

E-mail: huana88@mail.ru

FEATURES OF HEAVY METAL ION SORPTION BY INTERPOLYMER SYSTEMS FORMED FROM HOMOGENEOUS POLYELECTROLYTES

Jumadilov Talkybek — Doctor of Chemical Sciences, Professor, A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Khimersen Khuangul — PhD, Scientific Researcher, A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: huana88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5138-5997>;

Imangazy Aldan — Scientific Researcher, A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kazpetrochem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7834-1022>.

Abstract. This scientific article describes the sorption properties of the KU-2-8: Lewatit CNP LF interpolymer system for copper and lead ions. The aim of the work is to study the sorption of heavy metal ions (Pb^{2+} , Cu^{2+}) from aqueous solutions by interpolymer systems based on strong and weak cation exchange resins, and to evaluate the effect of the molar ratio of the system components on sorption efficiency. The spectral methods used in the study were inductively coupled plasma optical emission spectrometry and Fourier transform infrared spectrometry. The results showed that the degree of sorption of the system increased with increasing contact time for both metals. The highest sorption values were recorded for the KU-2-8:Lewatit CNP LF interpolymer system at a molar ratio of 3:3 Cu – 46.26%; Pb – 53.6%. The experimental data were fitted to the Langmuir and Freundlich isotherm models. It was found that the sorption process is better described by the Freundlich model than by the Langmuir model. This indicates the energetic heterogeneity of the active centers of the surface of the interpolymer system and the multimolecular nature of the sorption of metal cations. The Freundlich constant for lead ions ($K_F = 4.38$) is higher than that for copper ions ($K_F = 3.66$), which indicates a higher sorption capacity of the KU-2-8:Lewatit CNP LF interpolymer system with respect to lead ions. The desorption efficiency of individual cationites (6:0 and 0:6) reached 98–99.7%, and the cumulative metal desorption degree in the 3:3 interpolymer system was 96%. The results of the study showed that the use

of an interpolymer system based on KU-2-8:Lewatit CNP LF cation exchange resins is a promising method for the complex separation of heavy metal ions from aqueous solutions.

Keywords: KU-2-8, Lewatit CNP LF, interpolymer system, heavy metals, degree of sorption, Langmuir and Freundlich model

Financing. *The study was conducted with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AR26195783)*

For citations: Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A. Features of heavy metal ion sorption by interpolymer systems formed from homogeneous polyelectrolytes. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.3. — P. 140–153. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.392>

© Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х.*, Имангазы А., 2026.

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

Алматы, Қазақстан.

E-mail: huana88@mail.ru

БІРТЕКТІ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТТЕРДЕН ҚҰРЫЛҒАН ИНТЕРПОЛИМЕРЛІ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АУЫР МЕТАЛЛ ИОНДАРЫН СОРБЦИЯЛАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Джумадилов Талқыбек — химия ғылымдарының докторы, профессор, «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Химэрсэн Хуангул — PhD, ғылыми қызметкер, «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: huana88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5138-5997>;

Имангазы Алдан — ғылыми қызметкер, «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: kazpetrochem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7834-1022>.

Аннотация: Мақалада КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлік жүйесінің мыс және қорғасын иондарына қатысты сорбциялық қасиеттері зерттелді. Жұмыстың мақсаты — күшті және әлсіз катионалмастырғыш шайырлар негізінде құрылған интерполимерлік жүйелер арқылы сулы ерітінділерден ауыр металл иондарын (Pb^{2+} , Cu^{2+}) сорбциялау процесін зерттеу және жүйе компоненттерінің мольдік қатынасының сорбция тиімділігіне әсерін бағалау. Зерттеуде индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спектрометрия және Фурье-түрлендірілген инфрақызыл спектроскопия әдістері қолданылды. Нәтижелер екі металл үшін де жанасу уақыты ұлғайған сайын сорбция дәрежесінің артқанын көрсетті. КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлік жүйесінің 3:3 мольдік қатынасында сорбцияның ең жоғары мәндері Cu^{2+} үшін 46,26%, ал Pb^{2+} үшін

53,6% болды. Эксперименттік деректер Ленгмюр және Фрейндлих изотермалық модельдерімен сипатталды. Сорбция процесі Ленгмюр моделіне қарағанда Фрейндлих моделімен жақсы сипатталатыны анықталды, бұл интерполимерлік жүйе бетінің белсенді орталықтарының энергетикалық біртекті еместігін және металл катиондары сорбциясының көпқабатты сипатын көрсетеді. Қорғасын иондары үшін Фрейндлих константасы ($K_F = 4,38$) мыс иондарына қарағанда ($K_F = 3,66$) жоғары болды, бұл интерполимерлік жүйенің Pb^{2+} иондарына қатысты сорбциялық қабілетінің жоғары екенін көрсетеді. Жеке катионалмастырғыштарда 6:0 және 0:6 қатынастарында десорбция тиімділігі 98–99,7%-ға жетті, ал 3:3 интерполимерлік жүйеде металдардың жиынтық десорбция дәрежесі шамамен 96%-ды құрады. Алынған нәтижелер КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлік жүйесін сулы ерітінділерден ауыр металл иондарын бөліп алу үшін перспективалы материал ретінде қолдануға болатынын көрсетті.

Түйін сөздер: КУ-2-8, Lewatit CNP LF, интерполимерлік жүйе, ауыр металдар, сорбция дәрежесі, Ленгмюр моделі, Фрейндлих моделі

© Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х.*, Имангазы А. 2026.

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

E-mail: huana88@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИИ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ, ОБРАЗОВАННЫМИ ИЗ ОДНОТИПНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ

Джумадилов Талқыбек — доктор химических наук, профессор, АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан,

E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Химэрсэн Хуангул — PhD; научный сотрудник, АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан,

E-mail: huana88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5138-5997>;

Имангазы Алдан — научный сотрудник; АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан,

E-mail: kazpetrochem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7834-1022>.

Аннотация: В статье исследованы сорбционные свойства интерполимерной системы КУ-2-8:Lewatit CNP LF по отношению к ионам меди и свинца. Цель работы заключалась в изучении сорбции ионов тяжёлых металлов (Pb^{2+} , Cu^{2+}) из водных растворов интерполимерными системами на основе сильного и слабого катионообменников и оценке влияния мольного соотношения компонентов системы на эффективность сорбции. В исследовании использовали оптическую эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой и ИК-Фурье-спектроскопию. Установлено, что для обоих металлов степень сорбции возрастает с увеличением продолжительности контакта. Максимальные значения сорбции зарегистрированы для интерполимерной системы КУ-2-8:Lewatit CNP LF при мольном соотношении 3:3 и составили 46,26% для Cu^{2+} и 53,6%

для Pb^{2+} . Экспериментальные данные аппроксимировали с использованием изотермических моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Установлено, что процесс сорбции лучше описывается моделью Фрейндлиха, чем моделью Ленгмюра, что свидетельствует об энергетической неоднородности активных центров поверхности интерполимерной системы и многослойном характере сорбции катионов металлов. Константа Фрейндлиха для ионов свинца ($K_F = 4,38$) превышала соответствующее значение для ионов меди ($K_F = 3,66$), что свидетельствует о более высокой сорбционной способности системы по отношению к Pb^{2+} . Эффективность десорбции индивидуальных катионитов при соотношениях 6:0 и 0:6 достигала 98–99,7%, а суммарная степень десорбции металлов из интерполимерной системы 3:3 составляла около 96%. Полученные результаты показывают перспективность применения интерполимерной системы КУ-2-8:Lewatit CNPLF для комплексного извлечения и разделения ионов тяжёлых металлов из водных растворов.

Ключевые слова: КУ-2-8, Lewatit CNP LF, интерполимерная система, тяжёлые металлы, степень сорбции, модель Ленгмюра, модель Фрейндлиха

Кіріспе. Ауыр металдар қатарына атомдық салмағы 63,5 пен 200,6 аралығында және меншікті салмағы 5,0-ден жоғары элементтер жатады (Ali et al., 2021; Jomova et al., 2024; Singh et al., 2023). Металл қаптау қондырғылары, тау-кен өндірісі, тыңайтқыштар өнеркәсібі, былғары зауыттары, аккумуляторлар, қағаз өнеркәсібі және пестицидтер сияқты салалардың қарқынды дамуымен ауыр металдардың ағынды сулары қоршаған ортаға тікелей немесе жанама түрде төгіледі. Көптеген ауыр металл иондары улы немесе канцерогенді екені белгілі. Қоршаған ортаның ауыр металдармен ластануы айтарлықтай экологиялық қиындықтар туғызады, себебі бұл ластаушы заттар тұрақты, биологиялық ыдырамайтын және табиғи экожүйелерде ұзақ уақыт бойы жинала алады. Су экожүйелеріне шығарылғаннан кейін ауыр металдар шөгінділерде шоғырланып, биожинақтау және биоүлкейту арқылы қоректік тізбекке енуі мүмкін. Бұл балықтарға, су өсімдіктеріне, микробтарға, омыртқасыздарға және жоғары трофикалық түрлерге теріс әсер етуі мүмкін. Тым жоғары улы металдардың концентрациясы микробтық популяцияларды бұзуы, биоәртүрлілікті төмендетуі, экожүйенің жұмысына кедергі келтіруі және судың жалпы сапасын нашарлатуы мүмкін. Сонымен қатар, ауылшаруашылық суару, су тіршілік ету ортасы және экожүйелік қызметтер өзендердің, көлдердің және жер асты суларының ластануынан теріс әсер етуі мүмкін. Сондықтан ауыр металл иондарын кетірудің тиімді және тұрақты әдістерін әзірлеу қоршаған ортаның тұтастығын сақтау, су ресурстарының ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету және адам денсаулығын сақтау үшін өте маңызды (Mussa et al., 2026; Pohl, 2020). Өнеркәсіптік ағынды суларды тазартуда ерекше маңызды болып табылатын улы ауыр металдарға мырыш, мыс, никель, сынап, кадмий, қорғасын және хром жатады (Aziz et al., 2023; Fu and Wang, 2011).

Әдебиеттерге шолу. Қорғасын - адамдар мен жануарлардың өмірлік маңызды мүшелерінде жиналып, ауа, су және тамақ арқылы ағзаға енетін улы металл.

Қорғасын мұнай өңдеу зауыттарының ағынды суларынан, қорғасын бар негізгі қосылыстарды өндіруден пайда болатын ағынды сулардан, өндірістен кейінгі еріткіштер мен бояулардың қалдықтары бар ағынды сулардан шығады (Vidu et al., 2020). Қорғасынның жоғары уыттылығы оның құрамын минималды (1 мкг/л) деңгейге дейін төмендетуді талап етеді. Осы мақсатта функционалды фосфондық және аминфосфондық топтары бар хелаттау иондары қолданылады. Сондай-ақ, 4-6 рН диапазонындағы ерітінділерден қорғасын (II) хлоридті кешендерін селективті түрде алу үшін бос негіздік түрдегі әлсіз негіздік анион алмастырғыштарды пайдалануға болады (Pramanik et al., 2009).

Мыс жер қыртысында сульфидтер түрінде кездеседі. Қалалық және өнеркәсіптік ағынды сулар өзендер мен су қоймаларының ластануының маңызды көзі. Өзен суындағы мыстың табиғи мөлшері $0,9-20 \text{ мкг} \cdot \text{дм}^{-3}$, ал тұзды суларда $0,02-0,3 \text{ мкг} \cdot \text{дм}^{-3}$ құрайды. Мыс тұздарының жоғары мөлшерін қабылдау асқазан-ішек жолдарының бұзылуын тудыратыны белгілі. Мыс қосылыстары теріге әсер етіп, қышу мен қабынуды тудырады. Сондай-ақ, конъюнктивитке, ойық жараға және тамақ пен мұрын пердесінің ауырсынуына әкелуі мүмкін (Barceloux and Barceloux, 1999).

Ағынды суларды ауыр металл иондарынан тазалауда қолданылатын дәстүрлі әдістерге химиялық тұндыру, булану және еріткішті экстракциялау және ион алмасу жатады (Hubicki and Koodynski, 2012). Ион алмастырғыштар қарапайымдылығына, селективтілігіне, тиімділігіне және қосымша қалпына келтіру қабілетіне байланысты сулы жүйелерді өңдеуде қолданылатын тиімді әдіс. Сонымен қатар, олар экологиялық тұрғыдан ыңғайлы, қолжетімді және арзан (Dąbrowski et al., 2004; Egirani et al., 2019).

Ағынды суларды улы ауыр металдардан тазалау үшін ион алмастырғыштарды пайдалануға бағытталған бірқатар зерттеу түрлері бар. Осы бағытта А. Колиева және т.б. өндірістік ағынды сулардан ауыр металдарды жоғары концентрацияда сорбциялау үшін КУ-2-8 катионалмастырғыш шайырының тиімділігін зерттеген. Сорбция барысында катиониттің орташа сыйымдылығы $2073-2140 \text{ мг-экв/дм}^3$ аралығында болатыны және 5-10% күкірт қышқылы ерітіндісімен десорбция тиімділігі 100% нәтиже беретіні көрсетілген (Koliehova et al., 2019). Қорғасынды темірден селективті бөліп алу үшін хелатты шайырлардың тиімділігі жоғары. Зерттеуге сәйкес (Rao et al., 2005), аминфосфонды топтары бар Duolite ES 467 шайыры рН 3 жағдайында қорғасынды жоғары сыйымдылықпен ($33,96 \text{ г/дм}^3$) байланыстыра алады. Бірақ ерітіндіде хлорид ионы болса, сорбция керісінше төмендейді. Әлсіз қышқылды Lewatit CNP 80 және хелат түзуші Lewatit TP 207 шайырларының ауыр металдарға қатысты сорбциялық қасиетін зерттеу (Pehlivan and Altun, 2007) металдарды әртүрлі рН та (Lewatit CNP 80 үшін рН 7.0-9.0, ал Lewatit TP 207 үшін рН 4.5-5.5) оңтайлы жоюға болатынын және ерітіндінің иондық күші сорбцияға әсер етпейтінін көрсетеді.

Соңғы кезде табиғаты әртүрлі ионалмастырғыштар негізінде құрылған интерполимерлі жүйелерді технологиялық ерітінділерден сирек жер металдарын және бағалы металдарды бөлуде қолдану бағытында бірқатар зерттеулер

жүргізілген. Өнеркәсіптік ионалмастырғыштардан (мысалы, КУ-2-8:АВ-17-8, Lewatit CNP LF:АВ-17-8 және т.б.) және қышқылдық-негіздік гидрогельдерден (ПМАҚг:П4ВПг) тұратын интерполимерлі жүйелердің сорбциялық белсенділігі электрохимиялық және спектрлік әдістермен кеңінен зерттелген (Imangazy et al., 2023; Jumadilov et al., 2026). Мұндай жүйелерде полимерлердің қашықтан әрекеттесуі әсерінен құрамындағы компоненттердің құрылымдары конформациялық және электрохимиялық өзгерістерге ұшырап, функционалды топтары жоғары ионданған күйге ауысатыны және соның әсерінен сорбциялық қасиеттері артатыны дәлелденген. Дегенмен ауыр металл иондарын бөлу үшін екі катион алмастырғыштан тұратын интерполимерлі жүйелерді қолдану, олардың өзара активтену механизмі және сорбциялық тиімділігі әлі де зерттеуді қажет ететін маңызды бағыттардың бірі. Бұл зерттеудің бұрын зерттелген анионит-катионит немесе қышқылдық-негіздік гидрогельдер негізіндегі интерполимерлі жүйелерден айырмашылығы, алғаш рет тек катионит-катионит (күшті және әлсіз) негізіндегі интерполимерлі жүйелердің сорбциялық белсенділігі мен қашықтан әрекеттесу әсері зерттеледі. Осыған орай жұмыстың мақсаты – күшті және әлсіз катионалмастырғыш шайырлары негізінде құрылған интерполимерлі жүйелермен сулы ерітінділерден ауыр металл иондарын (Pb, Cu) сорбциялау процесін және жүйенің молярлық қатынастарының сорбцияға әсерін зерттеу.

Тәжірибелік бөлім

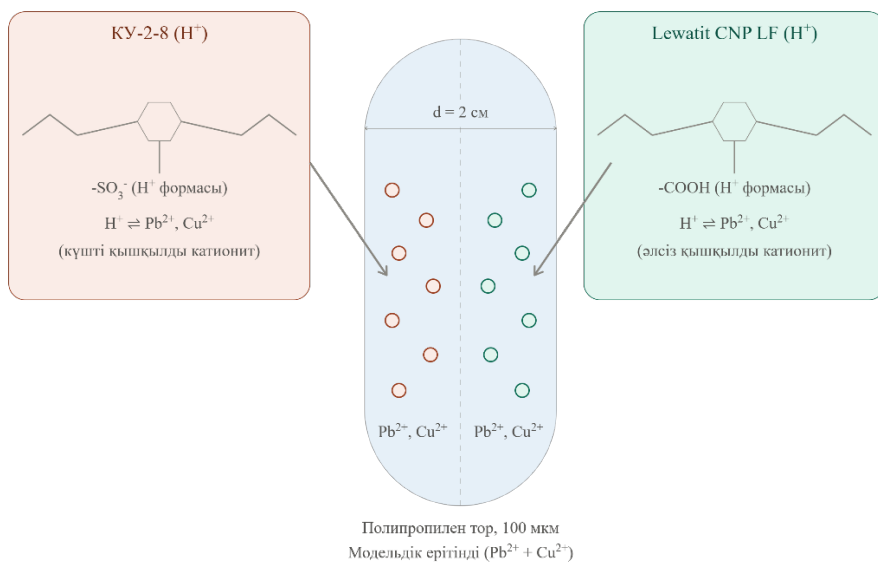
Зерттеу объектісі ретінде өндірістік катионалмастырғыш шайырлар КУ-2-8 (H^+) (Токем, Ресей) және Lewatit CNP LF (H^+) (Lanxess Deutschland GmbH, Кельн, Германия), алынды. Мыс және қорғасынның бинарлы ерітіндісі мыс (II) нитраты $Cu(NO_3)_2$ (Sigma-Oldrich, Германия) және қорғасын нитраты $Pb(NO_3)_2$ (Sigma-Oldrich, Германия) тұздарын дистилденген суда еріту арқылы дайындалды. Бастапқы ерітіндідегі металдардың концентрациясы: Cu – 10.05 мг/л, Pb – 10.02 мг/л. Сорбциядан кейін интерполимерлі жүйеден ауыр металл иондарын статикалық жағдайда десорбциялау үшін 2 М азот қышқылының ерітіндісі қолданылды. Металл иондарының қалдық концентрациясы плазмамен индуктивті байланысқан атомды-эмиссионды спектрометрінде (ICAP PRO) анықталды.

Зерттеу әдістері. Индуктивті байланысқан плазмалық атомдық эмиссиялық спектрометрі (Thermo Fisher Scientific, АҚШ) және NICOLET 5700 инфрақызыл спектрометрі (Thermo Fischer Scientific, АҚШ).

Интерполимерлі жүйелерді дайындау

Интерполимерлі жүйедегі катионалмастырғыштардың молярлық қатынастарына (6:0, 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 және 0:6 моль:моль) сәйкес өлшеніп алынған құрғақ массалары полипропиленді торларға салынды (кеуек өлшемі 100 мкм, иондар мен еріткіш молекулалары еркін диффузияланады). Бұл торлар модельдік ерітіндісі бар шыны стаканның ішінде 2 см белгіленген қашықтықта орналастырылды (1-сурет). Бұл тәжірибелік қондырғы сорбциялық процестің тікелей физикалық жанасумен емес, қашықтықтан әрекеттесу әсерімен басқарылуын қамтамасыз етеді. Әрбір жүйедегі жалпы сорбент массасы тұрақты

сақталды. Интерполимерлі жүйедегі шайыраралық электростатикалық тепе-теңдікті қамтамасыз ету және алмастырғыш бетінен бөлініп шыққан иондарды жою үшін сорбциялық тәжірибелер алдында 24 сағат бойы деиондандырылған суда ақырын араластыру арқылы теңестірілді. Тәжірибелер бөлме температурасында жүргізілді.



Сурет 1 – Сулы ортадағы КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесінің тәжірибелік қондырғысының сызбасы.

Сорбция параметрлерін есептеу. Ионалмастырғыштардың сорбция дәрежесі мына теңдеумен есептеледі:

$$\eta = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100\%, \quad (1)$$

мұндағы C_o – ерітіндідегі металл иондарының бастапқы концентрациясы, мг/л; C_e – металл иондарының ерітіндіде қалған концентрациясы, мг/л.

Сорбциялық сыйымдылық мына теңдеумен есептеледі:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

мұндағы C_o және C_e металл иондарының бастапқы және тепе-теңдік концентрациялары (мг/г), V – ерітінді көлемі (л), m – сорбенттің массасы (г).

Десорбция кинетикасы 48 сағаттық сорбция тәжірибелерінен алынған металлмен толтырылған сорбенттерді 100 мл 2 М азот қышқылының ерітіндісіне элюент ретінде ауыстыру арқылы зерттелді. 48 сағаттық жанау уақыттарында

алынған аликвоттар АЭС-де талданды. Десорбция дәрежесі (R, %) (3) тендеуге сәйкес есептелді:

$$R = \frac{m_d}{m_s} * 100\% \quad (3)$$

Мұндағы m_d және m_s — интерполимерлі жүйеден десорбцияланған және бастапқыда полимерге сорбцияланған металлдың жиынтық массасы, мг/л.

Ленгмюр және Фрейндлих изотермалары

Энергетикалық эквивалентті белсенді орталықтары бар толығымен біртекті бетке моноқабатты адсорбцияны болжайтын Ленгмюр изотермалық моделі келесі тендеумен өрнектеледі:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4)$$

мұндағы q_e – сорбция сыйымдылығы (мг/г); C_e – сулы ерітіндідегі металл иондарының тепе-теңдік концентрациясы (мг/л); q_m – теориялық моноқабаттың максималды адсорбция сыйымдылығы (мг/г); K_L – Ленгмюр тұрақтысы (л/мг).

Көп қабатты адсорбциялық мінез-құлқы бар гетерогенді беттердегі қайтымды адсорбцияны сипаттайтын Фрейндлих изотермалық моделі келесі тендеумен анықталады:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

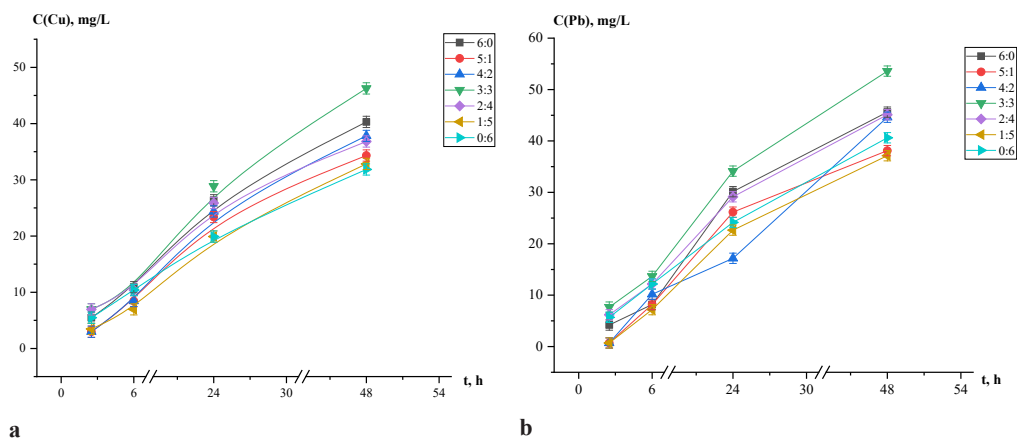
мұндағы K_F - Фрейндлих изотермалық тұрақтысы; n - адсорбция қарқындылығын сипаттайтын гетерогенділік коэффициенті.

Екі модель үшін де сәйкестік сапасы мен параметрлері OriginPro бағдарламалық жасақтамасын пайдаланып сызықтық емес регрессиялық талдау арқылы бағаланды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Екі катионалмастырғыштан тұратын интерполимерлі жүйенің мыс және қорғасын иондарына қатысты сорбция дәрежесі 2-суретте берілген. Жүйенің сорбция дәрежесі (η , %) екі металл үшін де әрекеттесу уақыты өскен сайын өскені байқалады. Сорбцияның жоғары мәні КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесінің 3:3 мольдік қатынасында тіркелді, мұнда Cu – 46.26%; Pb – 53.6%. Бұл 6:0 және 0:6 мольдік қатынасындағы жеке күйдегі ионалмастырғыштардың сорбция дәрежесінен жоғары. Мұны интерполимерлі жүйедегі компоненттердің өзара әрекеттесу механизмімен байланыстыруға болады. Жүйенің құрамындағы екі катиониттің функционалды топтары диссоциацияланған кезде, қарсы иондар бүкіл көлем бойынша біркелкі таралады. Күшті диссоциацияланған молекулалар кейбір қарсы иондарды жоғалтады, ал әлсіз диссоциацияланған молекулалар қосымша заряд алады.

Нәтижесінде күшті электролиттер одан әрі ісінеді, ал әлсіз электролиттер ісіну көлемін азайтады, бұл полиэлектролиттердің тең концентрацияларында орын алады. Ерітіндіде төмен молекулалы иондар болған кезде, полиэлектролиттер полиэлектролит әсерін басу арқылы одан әрі жиырылады. Осылайша интерполимерлі жүйенің ұқсас зарядталған компоненттері үшін «қашықтан әрекеттесу әсері» жүзеге асырылады.

Сорбция барысында күрделі ерітіндідегі иондар арасында бәсекелестік болады, мұнда Pb^{2+} иондарының Cu^{2+} иондарына қарағанда полимер матрицасына көбірек диффузияланғаны байқалады. Бұл Пирсонның «қатты-жұмсақ» қышқыл-негіз теориясы тұрғысынан (Pearson, 1963), Pb^{2+} катионының үлкен иондық радиусына (Shannon, 1976) және поляризациялану қабілетінің жоғары болуына байланысты оның полимердің белсенді функционалды топтарымен комплекс түзуге бейімділігін негіздейді.



Сурет 2 – Өртүрлі мольдік қатынастағы КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесінің $Cu(II)$ (a) және $Pb(II)$ (b) иондарына қатысты сорбция дәрежесінің өзгерісі.

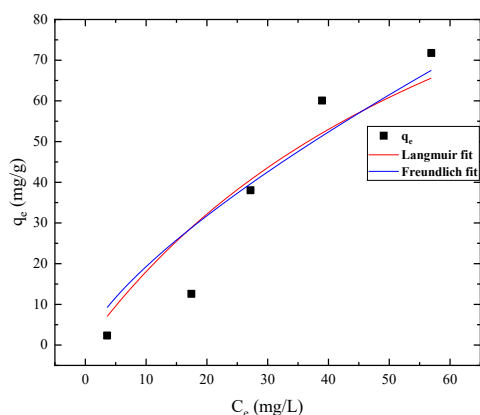
КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесімен (молярлық қатынасы 3:3 моль:моль) $Cu(II)$ және $Pb(II)$ адсорбциясының тепе-теңдік күйін сипаттау үшін (q_e және C_e) эксперименттік деректер Ленгмюр және Фрейндлих изотермалық модельдерімен сәйкестендірілді (3-сурет). Сорбциялық изотермаларды зерттеу сұйық немесе газ тәрізді ортадан мақсатты компоненттерді сорбциялық алу процестерін түсінуде және оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Изотермаларды зерттеу сорбент пен сорбаттың өзара әрекеттесу сипатын анықтауға мүмкіндік береді: сорбцияның физикалық немесе химиялық екенін, оның бір қабатты немесе көп қабатты түрде жүретінін және адсорбция гомогенді немесе гетерогенді бетте жүретінін анықтауға болады. Тиісті параметрлер детерминация коэффициенттерімен (R^2) бірге 1-кестеде берілген. Есептеу нәтижелерінен бұл жүйе үшін сорбция процесі Ленгмюр моделіне қарағанда Фрейндлих моделімен жақсы сипатталатыны анықталды. Мұны Фрейндлих

моделі үшін корреляция коэффициенттерінің жоғары мәндері дәлелдейді (Cu^{2+} үшін $R^2 = 0.996$ және Pb^{2+} үшін $R^2 = 0.998$). Бұл заңдылық интерполимерлік жүйе бетінің белсенді орталықтарының энергетикалық біртекті еместігін және металл катиондарының сорбциясының көп молекулалық сипатын көрсетеді. Қорғасын иондары үшін Фрейндлих константасы ($K_F = 4.38$) мысқа қарағанда ($K_F = 3.66$) жоғары. Бұл КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесінің 3:3 мольдік қатынасында қорғасын иондары үшін сорбциялық сыйымдылық жоғары екенін көрсетеді.

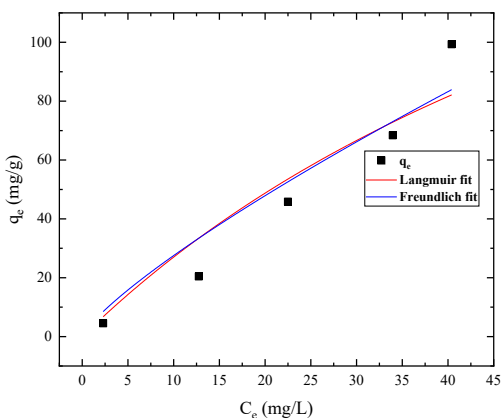
Кесте 1 – КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесіндегі Cu^{2+} және Pb^{2+} иондарының сорбция изотермаларын сипаттайтын Ленгмюр және Фрейндлих модельдерінің параметрлері

Модель	Параметр	Cu^{2+}	Pb^{2+}
Ленгмюр	q_m , мг/г	150.0 ± 134.9	250.0 ± 325.2
	K_L , л/мг	0.01365 ± 0.0191	0.01211 ± 0.0219
	R^2	0.888	0.904
	K_F (мг/г)(л/мг) $^{1/n}$	3.66085 ± 0.0204	4.38262 ± 0.0205
Фрейндлих	n	1.38673 ± 0.0035	1.25298 ± 0.0022
	$1/n$	0.7211	0.7981
	R^2	0.996	0.998

Ескерту: мәндер тиісті регрессиялық талдаудан алынған $\pm$ стандартты қателікпен берілген; R^2 — детерминация коэффициенті.



a

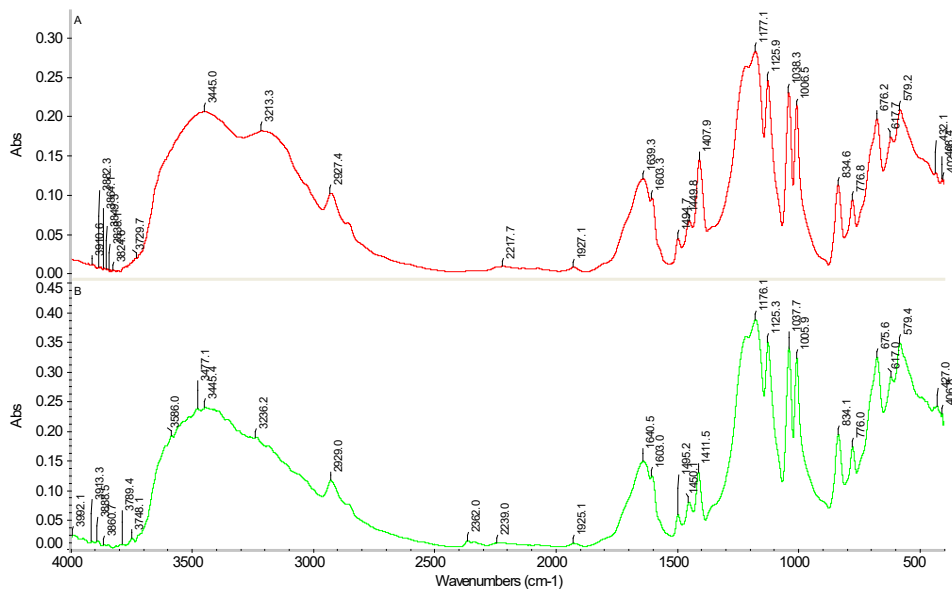


b

Сурет 3 – КУ-2-8:Lewatit CNP LF (3:3 моль:моль) интерполимерлі жүйеге сорбцияланған Cu(II) (a) және Pb(II) (b) иондары үшін адсорбция изотермалары (тәжірибелік жағдайлар: $C_0 = 10$ – 100 мг/л; $T = 25 \pm 1$ °C; $V = 200$ мл; $m = 0,12$ г; тепе-теңдік уақыты = 48 сағат).

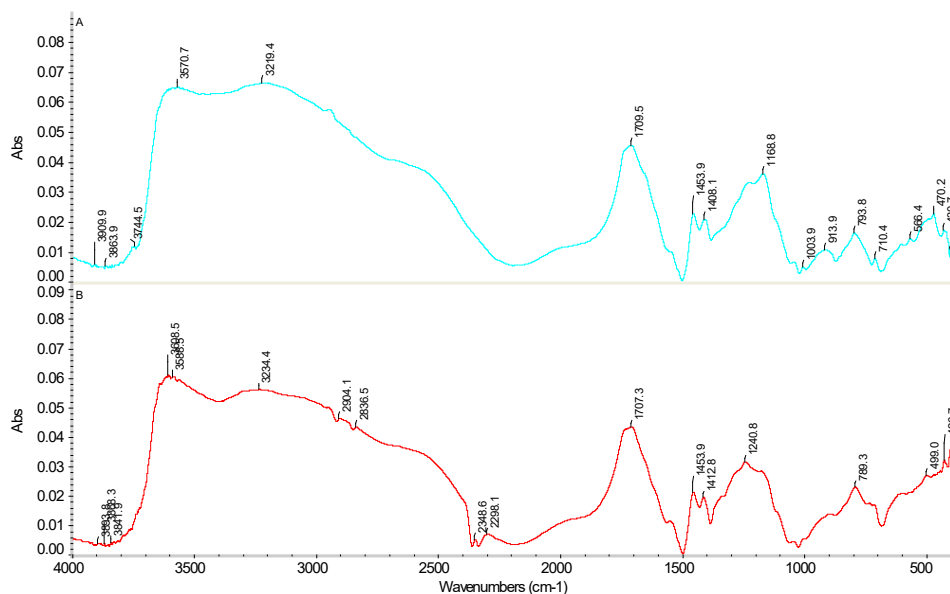
Бастапқы және металл сорбциясынан кейінгі КУ-2-8:Lewatit CNP LF (3:3 моль:моль) интерполимерлі жүйелерінің ИҚ спектрлері 4 және 5-суреттерде берілген. КУ-2-8 шайырының екі спектрінде де (4-сурет) жұтылу жолақтары бірдей, бұл шайыр құрылымының сорбция процесінде тұрақтылығын көрсетеді. 1603.3 және 1639.03 cm^{-1} ароматты бензол сақинасының жұтылу жолақтарына;

2927-2929 cm^{-1} алифаттық тізбектердегі асимметриялық C-H созылуына; 1177-1178 cm^{-1} $-\text{SO}_3^-$ асимметриялық созылуына және 1037-1038,3 cm^{-1} $-\text{SO}_3^-$ симметриялық созылуына сәйкес келеді (Theophanides, 2012). Сорбциядан кейінгі үлгіде сульфотоп аймағында жұтылу жиілігі 1177 cm^{-1} жолағында ≈ 0.29 -дан ≈ 0.39 -ға дейін, O-H созылу жолағында (3200-3500 cm^{-1}) ≈ 0.20 -дан ≈ 0.24 -ке дейін артқан. Бұл $-\text{SO}_3^-$ тобының электронды ортасы өзгеріп, металл катиондарының H^+ ион алмасу арқылы ауысқанын және сульфотоппен электростатикалық-координациялық байланыс түзгенін растайды.



Сурет 4 – Таза KY-2-8 (а) және мыс пен қорғасын иондарының сорбциясынан кейінгі (б) KY-2-8:Lewatit CNP LF (3:3 моль:моль) ИП жүесіндегі KY-2-8 шайырының ИҚ спектрлері.

Бастапқы Lewatit CNP LF шайырының спектрлеріндегі (5-сурет) карбоксилат ионының симметриялы және ассиметриялы созылу жиіліктеріне сәйкес келетін 1408 cm^{-1} және 1453.9 cm^{-1} жолақтары сорбциядан кейін 1412.8 cm^{-1} және 1463.9 cm^{-1} ығысуы; C-O созылу тербелісіне сәйкес келетін 1168.8 cm^{-1} жолағының сорбциядан кейінгі үлгіде 1240.8 cm^{-1} жоғары жиілікке ығысуы ауыр металл иондарының карбоксил тобындағы сутегінің орнын басып, металл-карбоксилат комплексінің түзілгенін растайды.



Сурет 5 – Таза Lewatit CNP LF (a) және мыс пен қорғасын иондарының сорбциясынан кейінгі (b) КУ-2-8:Lewatit CNP LF (3:3 моль:моль) ИП жүйесіндегі Lewatit CNP LF шайырының ИҚ спектрлері.

Ионалмастырғыштардың сулы ерітінділерден ауыр металдарды сорбциялау тиімділігін бағалау үшін тек сорбциялық қабілетті ғана емес, сонымен қатар олардың регенерация дәрежесін де ескеру қажет. Сондықтан, сорбция процесінен кейін катионалмастырғыштар 2 М азот қышқылымен регенерацияланды. Жеке КУ-2-8 (6:0) мен Lewatit CNP LF (0:6) катионитіндегі және интерполимерлі жүйедегі (3 моль КУ-2-8 және 3 моль Lewatit CNP LF) Cu^{2+} және Pb^{2+} иондарының десорбция дәрежесі 2-кестеде берілген. Интерполимерлі жүйедегі (3:3) десорбция дәрежесі екі катиониттен (3 моль КУ-2-8 және 3 моль Lewatit CNP LF) бөлінген металл иондарының жиынтық мөлшері ретінде есептелді ($R_{\Sigma} = R_{\text{КУ-2-8}} + R_{\text{Lewatit}}$). Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жеке катиониттерде десорбция дәрежесі 98–99,7%-ды құраса, 3:3 интерполимерлі жүйесіндегі суммарлық десорбция дәрежесі Cu^{2+} үшін 96,06% және Pb^{2+} үшін 96,14% құрады (соның ішінде КУ-2-8 үлесі ~53–56,7%, ал Lewatit CNP LF үлесі ~39–43%).

Кесте 2 – Cu^{2+} және Pb^{2+} иондарының десорбция дәрежесі R, %

	6 моль КУ-2-8	3 моль КУ-2-8	3 моль Lewatit CNP LF	6 моль Lewatit CNP LF
Cu	99,7	56,7	39,36	99,5
Pb	97,96	53,05	43,09	98,13

Қорытынды. Тәжірибелік деректер «КУ-2-8:Lewatit CNP LF» (3:3) интерполимерлік жүйесінің бастапқы КУ-2-8 және Lewatit CNP LF (6:0 және 0:6 моль:моль) үлгісімен салыстырғанда ауыр металл иондарын сорбциялау

дәрежесінің жоғары екенін көрсетті. Интерполимерлі жүйенің 3:3 мольдік қатынасында сорбция дәрежесі Cu – 46.26%; Pb – 53.6%. Сорбция процесі Фрейндлих моделімен жақсы сипатталатыны анықталды. Бұл интерполимерлік жүйе бетінің белсенді орталықтарының энергетикалық біртекті еместігін және металл катиондарының сорбциясының көп молекулалық сипатын көрсетеді. Қорғасын иондары үшін Фрейндлих константасы ($K_F = 4.38262$) мысқа қарағанда ($K_F = 3.66085$) жоғары. Бұл КУ-2-8:Lewatit CNP LF интерполимерлі жүйесінің 3:3 мольдік қатынасында қорғасын иондары үшін сорбциялық сыйымдылық жоғары екенін растайды. Зерттеу нәтижелері сулы ерітінділерден мыс және қорғасын иондарын бөліп алу үшін интерполимерлік жүйелерді тиімді сорбенттер ретінде қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

References

- Ali M.M., Hossain D., Al-Imran Khan M.S., Begum M., and Osman M.H. (2021) Environmental Pollution with Heavy Metals: A Public Health Concern. In: Heavy Metals—Their Environmental Impacts and Mitigation. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96805> (in Eng.)
- Aziz K.H.H., Mustafa F.S., Omer K.M., Hama S., Hamarawf R.F., and Rahman K.O. (2023) Heavy metal pollution in the aquatic environment: Efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC Advances*, 13(26). — P. 17595–17610. <https://doi.org/10.1039/D3RA00723E> (in Eng.)
- Barceloux D.G. and Barceloux D. (1999) Copper. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 37(2). — P. 217–230. <https://doi.org/10.1081/CLT-100102421> (in Eng.)
- Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkościelny P., and Robens E. (2004) Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, 56(2). — P. 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.03.006> (in Eng.)
- Egirani D., El-Naggar M., Ahmed S., Shehata N., Sheneshen E., Moubark M., and Author C. (2019) Ion Exchangers as an Emerging Technique for Removal of Toxic Heavy Metals in Wastewater: A Review, 5. — P. 27–29. (in Eng.)
- Fu F. and Wang Q. (2011) Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3). — P. 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011> (in Eng.)
- Hubicki Z. and Koodynski D. (2012) Selective Removal of Heavy Metal Ions from Waters and Waste Waters Using Ion Exchange Methods. In: Kilislioglu A. (Ed.) *Ion Exchange Technologies*. InTech. <https://doi.org/10.5772/51040> (in Eng.)
- Imangazy A., Jumadilov T., Khimersen K., and Bayshibekov A. (2023) Enhanced Sorption of Europium and Scandium Ions from Nitrate Solutions by Remotely Activated Ion Exchangers. *Polymers*, 15. — 1194 p. <https://doi.org/10.3390/polym15051194> (in Eng.)
- Jomova K., Alomar S., Nepovimova E., Kuca K., and Valko M. (2024) Heavy metals: Toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99. — P. 153–209. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2> (in Eng.)
- Jumadilov T., Dyussembayeva G., Mukatayeva Z., Gražulevicius J., and Khimersen K. (2026) Selective Sorption of Gold and Iron Ions in the PMAA-P4VP Intergel System. *Molecules*, 31. — 1583 p. <https://doi.org/10.3390/molecules31101583> (in Eng.)
- Kolihova A., Trokhymenko G., and Magas N. (2019) Extraction of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Ni^{2+} cations from industrial wastewater by ionite KU-2-8. *Technology Audit and Production Reserves*, 5. — P. 22–27. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.181411> (in Eng.)
- Mussa N.-S., Azat S., Berndtsson R., and Toshtay K. (2026) Advanced composite membrane technologies for mercury and heavy metal ion removal from aqueous systems: A review. *Chemical Engineering Journal Advances*, 27. — 101396 p. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.101396> (in Eng.)

Pearson R.G. (1963) Hard and Soft Acids and Bases. *Journal of the American Chemical Society*, 85(22). — P. 3533–3539. <https://doi.org/10.1021/ja00905a001> (in Eng.)

Pehlivan E. and Altun T. (2007) Ion-exchange of Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , and Ni^{2+} ions from aqueous solution by Lewatit CNP 80. *Journal of Hazardous Materials*, 140. — P. 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.011> (in Eng.)

Pohl A. (2020) Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(10). — 503 p. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04863-w> (in Eng.)

Pramanik S., Sarkar S., Paul H., and Chattopadhyay P. (2009) A new chelating polymer with 2-methoxy-1-imidazolylazobenzene functionality for determination of lead(II) and iron(III). *Indian Journal of Chemistry*. (in Eng.)

Rao K., Dash P., Sarangi D., Chaudhury G., and Misra V. (2005) Treatment of wastewater containing Pb and Fe using ion-exchange techniques. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80. — P. 892–898. <https://doi.org/10.1002/jctb.1258> (in Eng.)

Shannon R.D. (1976) Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallographica Section A: Crystal Physics, Diffraction, Theoretical and General Crystallography*, 32(5). — P. 751–767. <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551> (in Eng.)

Singh V., Singh N., Rai S.N., Kumar A., Singh A.K., Singh M.P., Sahoo A., Shekhar S., Vamanu E., and Mishra V. (2023) Heavy Metal Contamination in the Aquatic Ecosystem: Toxicity and Its Remediation Using Eco-Friendly Approaches. *Toxics*, 11(2). — 147 p. <https://doi.org/10.3390/toxics11020147> (in Eng.)

Theophanides T. (2012) Introduction to Infrared Spectroscopy. <https://doi.org/10.5772/49106> (in Eng.)

Vidu R., Matei E., Predescu A.M., Alhalaili B., Pantilimon C., Tarcea C., and Predescu C. (2020) Removal of Heavy Metals from Wastewaters: A Challenge from Current Treatment Methods to Nanotechnology Applications. *Toxics*, 8(4). — 101 p. <https://doi.org/10.3390/toxics8040101> (in Eng.)

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

*Managing Editor: A.Shormakova
Editors: D.S. Alenov, T. Apendiev
Computer layout: G.D. Zhadyranova*

Signed for print: September 23, 2026

Format: 70×90 1/16. 24.0 printed sheets. Order No. 3