

**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 Жұрынулы, 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 Бурханбайұлы, 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 зерттеу	11
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 зерттеу	58
Ғалымжан А., Қожабеков С., Қуанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Октадецилметакрилат пен малеин ангидридi сополимерлері құрамының мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Агроқалдықтардан алынған наноцеллюлозалы мембраналардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. SnO ₂ 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 құрамы	204

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., Абильмағжанов 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
Талгатов Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Ауезханова А.С., Ахметова С.Н. Полимер-модифицированные нанесённые катализаторы окисления циклогексана пероксидом водорода	389

© Auyeshov A.P., Yeskibayeva Ch.Z. *, Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B.,
Dzholdasova E.M., 2026.

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: centersapa@mail.ru

INVESTIGATION OF THE ADSORPTION CHARACTERISTICS OF SILICA OBTAINED FROM SERPENTINITE BY COMBINED ACID-ALKALI METHOD

Auyeshov Abdrazakh — Doctor of technical sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: abdragozaesov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>;

Yeskibayeva Chaizada — Candidate of technical sciences, Associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: centersapa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8440-1242>;

Ibrayeva Aitkul — Master of Chemical Sciences, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: aytkul.ibraeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0981-0117>;

Alzhanov Kurmanbek — Master of Chemical Sciences, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: kurmanbek_1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5221-8285>;

Dzholdasova Elmira — Master of Chemical Sciences, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: djoldasova_elmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-8990>.

Abstract. Serpentinite raw materials and chrysotile-asbestos production wastes represent technogenic resources rich in magnesium and silicon. In recent years, considerable attention has been devoted to the production of highly dispersed amorphous silica from such materials. According to the literature, acid-alkali treatment is one of the most promising approaches for obtaining high-purity silica with a developed specific surface area and controllable porous structure. In this study, the processing of serpentinite waste from the Zhitikara deposit (Kazakhstan) using a combined acid-alkali method was investigated. During the sulfuric acid leaching stage, magnesium was selectively extracted, while subsequent alkaline treatment with NaOH enabled the selective dissolution of the silica gel formed as a result of acid decomposition. At the final neutralization stage, amorphous silica was precipitated with a yield exceeding 60% of the initial silicon content in the raw material. The obtained silica was characterized

by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Thermo iCAP-Q), and nitrogen adsorption analysis using the BET method. The results demonstrated that the synthesized silica gel belongs to the class of mesoporous materials according to the IUPAC classification, possesses a high specific surface area of $400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, and shows considerable potential for adsorption and catalytic applications. Furthermore, the developed porous structure and high specific surface area of the obtained silica indicate its strong potential for use in sorbents, catalyst supports, and functional composites. The obtained results confirm the technological efficiency of the integrated processing of serpentinite waste for the production of high-value silica materials.

Keywords: serpentinite, amorphous silica, acid-alkali method, BET analysis, adsorbents, magnesium, waste recycling

Financing. *This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP32722965).*

For citations: 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. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, 2026. — No. 3. — P. 58–77. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.387>.

© Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З. *, Ибраева А.М., Алжанов К.Б.,
Джолдасова Э.М., 2026.

М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан.
E-mail: centersapa@mail.ru

ҚЫШҚЫЛДЫ-СІЛТІЛІ КОМБИНАЦИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН СЕРПЕНТИНИТТЕН АЛЫНҒАН КРЕМНЕЗЕМНІҢ АДСОРБЦИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Ауешов Абдразах — техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: abdrazahauesov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>;

Ескибаева Чайзада — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: centersapa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8440-1242>;

Ибраева Айткул — химия ғылымдарының магистрі, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: aytkul.ibraeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0981-0117>;

Алжанов Курманбек — химия ғылымдарының магистрі, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: kurmanbek_1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5221-8285>;

Джолдасова Эльмира — химия ғылымдарының магистрі, М. Өуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
E-mail: djoldasova_elmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-8990>.

Аннотация. Серпентинит шикізаты мен хризотил-асбест өндірісінің қалдықтары магний мен кремнийге бай техногендік ресурстар болып табылады. Соңғы жылдары осындай шикізаттан жоғары дисперсті аморфты кремнезем алу мәселесіне айрықша назар аударылуда. Қышқылды-сілтілі өңдеу жоғары тазалықтағы, меншікті бетінің ауданы дамыған және кеуектілік құрылымы реттелетін кремнезем алудың перспективалы тәсілдерінің бірі болып саналады. Бұл жұмыста Қазақстандағы Жітіқара кен орнының серпентинит қалдықтарын қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен өңдеу зерттелді. Күкірт қышқылымен шаймалау кезеңінде магний селективті түрде бөлініп алынды, ал кейінгі NaOH-пен сілтілік өңдеу қышқылдық ыдырау нәтижесінде түзілген кремнезем гелінің селективті еруін қамтамасыз етті. Соңғы бейтараптандыру кезеңінде бастапқы шикізат құрамындағы кремнийдің 60%-дан астам шығымымен аморфты кремнезем тұндырылды. Алынған кремнезем ИҚ-Фурье спектроскопиясы, рентгендік дифракция, энергия-дисперсиялық спектроскопиямен біріктірілген сканерлеуші электрондық микроскопия, индуктивті байланысқан плазмалы масс-спектрометрия және БЭТ әдісі бойынша азот адсорбциясы арқылы зерттелді. Нәтижелер алынған силикагельдің IUPAC жіктемесіне сәйкес мезокеуекті материалдар класына жататынын және меншікті бетінің ауданы $400 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ екенін көрсетті. Дамыған кеуекті құрылымы мен жоғары меншікті бетінің ауданы алынған кремнеземді сорбенттер, катализатор тасымалдағыштары және функционалдық композиттер құрамында қолдануға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер серпентинит қалдықтарын кешенді өңдеу арқылы қосылған құны жоғары кремнезем материалдарын өндірудің технологиялық тиімділігін дәлелдейді.

Түйін сөздер: серпентинит, аморфты кремнезем, қышқылды-сілтілі әдіс, БЭТ әдісі, адсорбенттер, магний, қалдықтарды қайта өңдеу

© Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З. *, Ибраева А.М., Алжанов К.Б.,
Джолдасова Э.М., 2026.

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.
E-mail: centersapa@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ СЕРПЕНТИНИТА КОМБИНИРОВАННЫМ КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНЫМ МЕТОДОМ

Ауешов Абдразах — доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: abdrazahauesov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>;

Ескибаева Чайзада — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: centersapa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8440-1242>;

Ибраева Айткул — магистр химии, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: aytkul.ibraeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0981-0117>;

Алжанов Курманбек — магистр химии, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: kurmanbek_1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5221-8285>;

Джолдасова Эльмира — магистр химии, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: djoldasova_elmira@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-8990>.

Аннотация. Серпентинитовое сырьё и отходы хризотил-асбестового производства представляют собой техногенные ресурсы, богатые магнием и кремнием. В последние годы значительное внимание уделяется получению из такого сырья высокодисперсного аморфного кремнезёма. Кислотно-щелочная обработка рассматривается как один из наиболее перспективных способов получения высокочистого кремнезёма с развитой удельной поверхностью и регулируемой пористой структурой. В настоящей работе исследована переработка серпентинитовых отходов Житикаринского месторождения Казахстана комбинированным кислотно-щелочным методом. На стадии сернокислотного выщелачивания осуществлялось селективное извлечение магния, а последующая обработка NaOH обеспечивала селективное растворение кремнезёмного геля, образовавшегося при кислотном разложении. На заключительной стадии нейтрализации был осаждён аморфный кремнезём с выходом более 60% от исходного содержания кремния в сырьё. Полученный материал исследовали методами ИК-Фурье-спектроскопии, рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и низкотемпературной адсорбции азота методом БЭТ. Установлено, что полученный силикагель относится к классу мезопористых материалов по классификации IUPAC и обладает высокой удельной поверхностью - $400 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$. Развитая пористая структура и высокая удельная поверхность свидетельствуют о перспективности его применения в качестве сорбента, носителя катализаторов и компонента функциональных композитов. Полученные результаты подтверждают технологическую эффективность комплексной переработки серпентинитовых отходов для получения кремнезёмных материалов с высокой добавленной стоимостью.

Ключевые слова: серпентинит, аморфный кремнезём, кислотно-щелочной метод, метод БЭТ, адсорбенты, магний, переработка отходов

Кіріспе. Соңғы онжылдыктарда минералдық шикізаттарды кешенді және қалдықсыз өңдеу мәселесі әлемдік ғылыми қауымдастықтың негізгі зерттеу бағыттарының біріне айналды. Әсіресе магний силикатты жыныстарды, оның ішінде серпентиниттерді тиімді қайта өңдеу өзекті болып отыр, себебі бұл минералдар бір мезгілде магний, кремний, темір және никель сияқты бағалы компоненттердің көзі болып табылады (Shayakhmetova et al., 2024; Carmignano et al., 2020). Сонымен қатар, негізгі құрамы серпентиниттер болып келетін хризотил-асбест өндірісінің қалдықтары (MgO – 43%, SiO_2 – 45%-ға дейін) көптеген елдерде ірі техногендік жинақталу объектілерін құрайды және олардың ұзақ мерзімді сақталуы экологиялық қауіп туғызады (Shayakhmetova et al., 2024). Серпентиниттер – гидратталған магний силикаттары тобына жататын

табиғи минералдар. Олардың негізгі минералдық түрлеріне хризотил, антигорит және лизардит жатады (Carmignano et al., 2020). Жалпы химиялық формуласы: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Бұл минералдардың құрылымы тетраэдрлік кремний-оттекті қабаттар мен октаэдрлік магний гидроксидтік қабаттардың кезектесуінен тұрады (Carmignano et al., 2020, Wypych et al., 2004). Осындай қабатты құрылым олардың қышқылдармен әрекеттесу кезінде жоғары реакциялық қабілетін қамтамасыз етеді. Қышқылдық ортада ең алдымен Mg-O байланыстары бұзылып, магний ерітіндіге өтеді, ал кремнийлі қаңқа біртіндеп аморфты кремнеземге айналады (Wypych et al., 2004; Vieira et al., 2022; Fedoročková et al., 2015). Серпентиниттердің қышқылдық ыдырауы келесі реакциямен сипатталады:



Реакция нәтижесі – магний тұздары мен аморфты кремнезем алу мүмкіндіктерін көрсетеді.

Әдебиеттерге шолу. Соңғы жылдары серпентиниттерден жоғары дисперсті аморфты кремнезем алу бағытындағы зерттеулер ерекше қарқын алды (Fedoročková et al., 2015; Çakan and Gönen, 2024; Wang et al., 2006). Мұның негізгі себебі – аморфты SiO_2 -нің өнеркәсіптің көптеген салаларында кеңінен қолданылуы. Атап айтқанда, кремнезем: адсорбент; катализатор тасымалдаушысы; полимерлік материалдардың толтырғышы; мембраналық материал; цемент және геополимер өндірісінің белсенді қоспасы; агрохимиялық кремний көзі ретінде маңызды орын алады (Carmignano et al., 2020, Wypych et al., 2004). Қазіргі уақытта өнеркәсіпте кремнезем алу үшін негізінен: кварц құмы; тетраэтоксисилан; кремний тетрахлориді; натрий силикаты қолданылады. Алайда бұл технологиялардың көпшілігі: жоғары энергия шығынын; күрделі жабдықтарды; қымбат реагенттерді қажет етеді. Осыған байланысты табиғи магний силикаттарын, әсіресе серпентинитті қалдықтарды кәдеге жарату экономикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді альтернатива ретінде қарастырылуда (Fedoročková et al., 2015; Çakan and Gönen, 2024). Әлемдік әдебиеттерде серпентиниттерді өңдеудің тиімді жолдары ретінде бірнеше бағыттары қарастырылған (Shayakhmetova et al., 2024; Carmignano et al., 2020, Wypych et al., 2004; Vieira et al., 2022; Fedoročková et al., 2015; Çakan and Gönen, 2024; Wang et al., 2006; Teir et al., 2007; Kelemen et al., 2011): магний қосылыстарын алу; кремнезем синтездеу; CO_2 минералдық секвестрациясы; сорбенттер мен катализаторлар алу. Олардың ішінде қышқылдық-сілтілік әдіс ерекше қызығушылық тудырады, себебі бұл әдіс: жоғары тазалықтағы кремнезем; үлкен меншікті бет; реттелетін кеуектілік; төмен қоспалық құрам алуға мүмкіндік береді (Fedoročková et al., 2015; Çakan and Gönen, 2024).

Әдістің химиялық негіздері: қышқылдық өңдеу барысында серпентин құрылымы бұзылып, Mg^{2+} ерітіндіге өтеді. Кейін, қалған кремнийлі қалдық сілтілік ерітіндіде ерітіліп, натрий силикаты түзіледі:



Натрий силикатының ерітіндісін бейтараптандыру нәтижесінде аморфты кремнезем тұнбаға түседі:



Fedoročková және авторлар (Fedoročková et al., 2015) серпентинит қалдықтарын өңдеу арқылы жоғары тазалықтағы аморфты кремнезем алуға болатынын көрсетті. Wang және әріптестері (Wang et al., 2006) табиғи хризотилді қышқылдық өңдеу нәтижесінде дамыған талшықты құрылымы бар кремнезем материалдарын алуға болатынын анықтаған. Мұндай кремнезем негізіндегі материалдардың адсорбенттер мен функционалдық материалдар ретінде қолданылу перспективалары әдебиетте кеңінен қарастырылған (Carmignano et al., 2020). Сонымен қатар, қазіргі зерттеулердің маңызды бағыты – серпентинитті өңдеуді көмірқышқыл газын байланыстыру технологияларымен интеграциялау болып табылады (Vieira et al., 2022; Kelemen et al., 2011). Қышқылдық өңдеу кезінде магний ерітіндіге Mg^{2+} иондары түрінде өтеді (Teir et al., 2007). Кейін бұл иондар көмірқышқыл газымен әрекеттесіп, магний карбонаттарын түзе отырып, CO_2 минералдық фиксациясына қатыса алады (Kelemen et al., 2011):



Бұл бағыт carbon farming және climate-tech технологиялары үшін ерекше перспективалы болып саналады (Huijgen and Comans, 2005).

Қазақстан үшін серпентиниттік шикізатты кешенді өңдеудің маңызы өте жоғары, олар: серпентинит минералдары; хризотил-асбест қалдықтары; никель құрамдас серпентиниттер түрлерінде ірі көлемде кездеседі (Shayakhmetova et al., 2024). Олардың ішінде «Қостанай минералдары» АҚ-ның өндірістік қалдықтарын өнеркәсіптік масштабтағы қайта өңдеу объектісі ретінде зерттеудің маңызы үлкен. Бұл қалдықтарды кешенді пайдалану: экологиялық жүктемені азайтуға; импорт алмастыруға; Mg және Si негізіндегі жаңа өнімдер шығаруға мүмкіндік береді (Shayakhmetova et al., 2024; Carmignano et al., 2020). Серпентиниттен алынатын кремнеземнің агрохимиялық перспективасы да жоғары. Кремний өсімдіктердің: құрғақшылыққа; тұздануға; биотикалық және абиотикалық стресс факторларына төзімділігін арттыратыны белгілі. Сондықтан Mg–Si негізіндегі өнімдерді Қазақстанның құрғақ климаттық жағдайында перспективалы тыңайтқыштық материалдар ретінде қарастыруға болады (Datnoff et al, 2001).

Осыған байланысты серпентинитті қышқылды-сілтілі әдіспен өңдеу арқылы аморфты кремнезем алу, оның құрылымы мен қасиеттерін ИҚ-Фурье, РФТ, ІСР-MS және БЭТ әдістерімен кешенді зерттеу ғылыми және қолданбалы тұрғыдан маңызды мәселе болып табылады.

Осы жұмыста серпентиниттерді қышқылдық өңдеудің тағы бір тәсілі қолданылды, ол магний мен кремнийді қышқылды-сілтілі аралас әдіспен кешенді түрде бөліп алуға негізделген. Әдісті одан әрі дамыту серпентиниттерді кәдеге

жарату мүмкіндіктерін күшейтеді. Мұндай сипаттағы үдерістерді зерттеу әдебиеттерде эпизодтық сипатқа ие. Мәселен, Matus және т.б. (Matus et al., 2020) оливиннен магнийді тізбекті шаймалау арқылы тиімді бөліп алу мүмкіндігін көрсетті. Ulum және т.б. (Ulum et al., 2023) шлактардан жоғары тазалықтағы кремнезем алудың сілтілік тұндыруға негізделген оңтайландырылған үдерісін әзірледі. Басқа зерттеулерде серпентинит негізіндегі қалдықтарды адсорбенттер мен құрылыс қоспалары сияқты функционалдық материалдар алу үшін қолдану мүмкіндігі көрсетілген (Peng et al., 2022). Қабатты магнийсиликаттардан алынатын аморфты кремнеземнің негізгі ерекшеліктерінің бірі — қышқылдық өңдеу нәтижесінде түзілген кремнеземнің бастапқы минералдардың морфологиясын сақтауы болып табылады (Zulumyan et al., 2002). Қабатты силикаттардан алынған кремнеземнің меншікті беткі ауданының типтік мәндері мынадай: тальктан алынған кремнезем үшін $SBET \approx 130 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ (Yang et al., 2006), оливиннен/серпентиниттерден алынған кремнезем үшін $SBET$ шамамен $1000 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ дейін (Lazaro et al., 2019, Raza et al., 2018), ал серпентиниттен алынған кремнезем үшін $SBET$ шамамен $50\text{-}400 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ аралығында болады (Cakan and Gonen, 2024). Көпсатылы тазарту нәтижесінде серпентиниттен микроқұрылымы сақталған жоғары тазалықтағы SiO_2 (>99,5 %) алынды. Қабатты магнийсиликаттардан алынатын аморфты кремнеземнің адсорбциялық қасиеттері көп жағдайда серпентинит шикізатының морфологиясына, яғни әртүрлі кен орындарының минералогиялық ерекшеліктеріне байланысты. Түзілетін кремнезем морфологиясының текстурасы қышқылдық өңдеу кезіндегі гель түзілуінің қалыптасу және даму механизміне де тәуелді болады (магнийдің шығарылуы $\rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$ -тің босап шығуы және/немесе кремнийге бай қабаттың түзілуі). Осылайша қышқылдық өңдеу шарттарына байланысты кеуектіліктің әртүрлі типтері мен параметрлеріне ие аморфты кремнеземнің әртүрлі түрлері түзілуі мүмкін, ал бұл оның әртүрлі салалардағы функционалдық қолданылуын айқындайды. Сондықтан әрбір жағдайда олардың қолданылу саласын анықтау мақсатында адсорбциялық қасиеттерін зерттеу қажеттілігі туындайды. Пайдалы өнімдер алу үшін серпентиниттерді қолданудың жаңа тәсілдері мен баламалы жолдарын іздеу серпентинит жыныстарының мол қорына және хризотил шикізаты қалдықтарының ірі көлеміне ие Қазақстан үшін өзекті болып табылады. Өнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеу технологияларына қызығушылықтың артуы жағдайында бұл тәсіл Қазақстанда және хризотил шикізатына бай басқа да елдерде серпентинит қалдықтарынан пайдалы магний және кремний өнімдерін алудың негізі бола алады.

Осы жұмыстың мақсаты – Жітіқара кен орнының (Қазақстан) серпентинит қалдықтарын қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен өңдеу үдерістерін зерттеу. Рентгенфазалық талдау (РФТ), ИҚ-Фурье спектроскопиясы және БЭТ-адсорбция әдістері сияқты физика-химиялық зерттеу әдістерін қолдану арқылы күкірт қышқылындағы серпентиниттің еру механизмі, сондай-ақ серпентинитті қышқылдық және қышқылды-сілтілі аралас өңдеу нәтижесінде алынған аморфты кремнеземнің адсорбциялық сипаттамалары зерттелді.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулерде зерттеу нысаны ретінде Жітіқара

кен орнының (Қазақстан) $\leq 0,14$ мм фракциялы серпентинитті қалдық (СҚ) пайдаланылды. Элементтік құрамы, масс. %: Mg – 25,0; Si – 17,45; Fe – 2,93; Al – 0,54; Ca – 0,50.

Рентгенфазалық спектрлер D8 Advance (Bruker) дифрактометрінде Cu-K α сәулеленуімен, 40 кВ кернеуде және 40 mA ток күшінде алынды. Алынған дифрактограммаларды өңдеу және жазықтықаралық арақашықтықтарды есептеу EVA бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы жүргізілді. Фазаларды сәйкестендіру PDF-2 (JCPDS) ұнтақтық дифрактометрия деректер базасы негізінде Search/Match бағдарламасында жүзеге асырылды. Фазалар келесі JCPDS деректер базалары бойынша анықталды: серпентин – 16-0613, Mg(OH) $_2$ – 07-0239, MgO – 45-0946.

ИҚ-Фурье спектрлері Shimadzu IR Prestige-21 қондырғысында Pike Technologies компаниясының бұзылған толық ішкі шағылысу (ATR) қосалқы қондырғысын қолдану арқылы алынды.

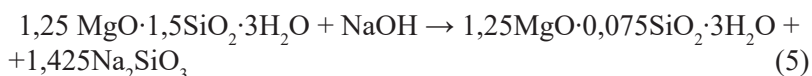
Меншікті беткі аудан мен кеуектердің өлшемдері бойынша таралуын анықтау Principle: Static capacity method, Model: BSD-660S A3, Zone-Test: Degas $\rightarrow$ Temp Zone қондырғысы арқылы жүргізілді.

Шаймалау және ерітінділерді тазарту процесіндегі элементтердің таралуын анықтауға бағытталған аналитикалық зерттеулер INCA Energy 350 энергодисперсиялық микроанализ жүйесімен жабдықталған JSM-6490LV (JEOL, Жапония) электрондық микроскопында және индуктивті байланысқан плазмалы масс-спектрометрия (ICP-MS, Thermo iCAP-Q, Thermo Scientific, Germany) әдісімен орындалды.

Аморфты кремнеземді (SiO $_2$) алу қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіс арқылы жүзеге асырылды. Тәжірибе үшін құрамында 25,75 г немесе 1,073 моль Mg бар 100 г серпентинит қалдығы (СҚ-0) пайдаланылды. (1) реакция теңдеуіне сәйкес, 100 г СҚ-0 құрамындағы Mg-ді толық шаймалау үшін 1,073 моль H $_2$ SO $_4$ қажет.

Реакторға құрамында 1,073 моль H $_2$ SO $_4$ бар 455 см 3 ерітінді құйылып, араластыру кезінде уақыт есебін бастап, ерітіндіге 100,0 г СҚ-0 қосылды. Қосу барысында экзотермиялық реакцияға байланысты температураның жоғарылауы қарқынды байқалды. Орныққан температура (95–97 °C) 2 сағат бойы қыздыру арқылы ұсталып тұрды, кейін суспензия ыстық күйінде вакуумдық сүзу әдісімен қағаз сүзгі (көк) арқылы сүзілді. Сүзу уақыты 2 сағатты құрады. Алынған фильтраттың жуынды сумен бірге жалпы көлемі 470 см 3 , pH = 0,64 болды, ал 105 °C-та кептірілгеннен кейінгі ерімейтін қалдықтың массасы 83,6 г құрады. Ашық жасыл түсті мөлдір фильтрат MgSO $_4$, CaSO $_4$, Al $_2$ (SO $_4$) $_3$, CrSO $_4$ және Fe $_2$ (SO $_4$) $_3$ металл сульфаттарының ерітіндісі болып табылады.

Аморфты кремнезем алу үшін қышқылда ерімейтін СҚ-1 қалдығы төмендегі реакция бойынша сілтімен өңделді:



83,6 г қышқылда ерімейтін қалдық 325 см³ 4,0 М NaOH ерітіндісімен өңделіп, араластыру жағдайында 0,5 сағат қайнатылды, содан кейін вакуум астында сүзілді және тұнба дистилденген сумен жуылды. Сүзу процесі баяу жүргенімен, қанағаттанарлық деңгейде өтті. Сілтілік фильтраттың көлемі $V = 1000 \text{ см}^3$, $\text{pH} = 11,46$ болды. Фильтрат 20%-дық H_2SO_4 ерітіндісімен $\text{pH} = 4,5\text{--}5,0$ мәніне дейін бейтараптандырылып, тұндыру үшін қалдырылды (2-кесте, 2-реакция). 12–14 сағаттан кейін ұсақ түйіршікті ақ түсті кремнезем тұнбасы түзілді. Тұнба сүзгіден өткізіліп, SO_4^{2-} иондарына теріс реакция бергенге дейін дистилденген сумен жуылды.

105 °С-та кептірілгеннен кейін алынған кремнезем ICP-MS, Thermo iCAP-Q қондырғысында талданды.

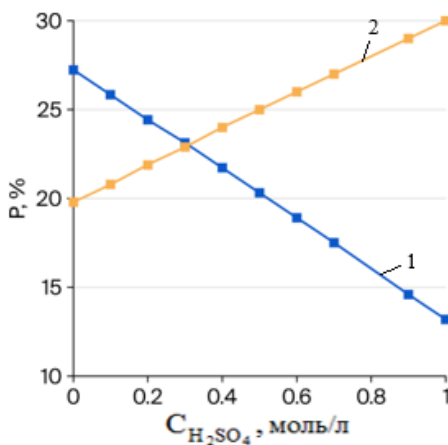
Нәтижелер және оларды талқылау. «Серпентинит- H_2SO_4 » жүйесіндегі әрекеттесу. Бастапқы серпентинит қалдығын (СҚ-0) қышқылдық өңдеу «Материалдар мен әдістер» бөлімінде келтірілген әдістеме бойынша жүргізілді. Химиялық талдау нәтижелері бойынша фильтрат пен ерімейтін қалдықтың құрамы, сондай-ақ СҚ-0 құрамындағы жекелеген элементтердің шаймалану дәрежесі анықталды. Нәтижелер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – СҚ-0 серпентинит қалдығын күкірт қышқылымен шаймалаудан кейінгі фильтрат пен қышқылда ерімейтін қалдық арасындағы элементтердің таралуы

Элемент	Mg	Si	Fe	Mn	Cr	Ca	Al
Фильтраттағы мөлшері (масс. %)	64,8	2,0	27,0	100,0	78,0	92,0	66,0
Ерімейтін қалдықтағы мөлшері (масс. %)	35,2	98,0	73,0	–	22,0	8,0	34,0
Барлығы (масс. %)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

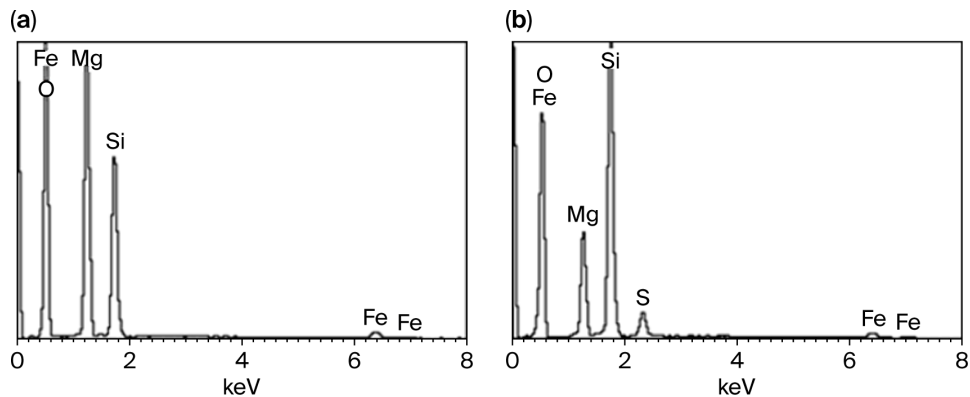
1-кестеден көрініп тұрғандай, СҚ-0 серпентинит қалдығын күкірт қышқылы ерітіндісімен бастапқы қышқылдық өңдеу барысында магний, марганец, хром, кальций және алюминийдің едәуір бөлігі (50%-дан астамы) сульфатты ерітіндіге өтеді. Сонымен қатар, темірдің шаймалануы төмен деңгейде (27%), ал кремнийдің шаймалануы өте мардымсыз (2%) екені анықталды. Шаймалаудан кейінгі ерімейтін қалдық кремниймен (98%-ға дейін) және темірмен (73%-ға дейін) айтарлықтай байиды. Қышқылда ерімейтін қалдықтар құрамының H_2SO_4 концентрациясына тәуелді өзгеруінің жалпы заңдылықтары 1 және 2-суреттерде көрсетілген.

H_2SO_4 концентрациясына қатысты ерімейтін қалдықтағы Si мен Mg мөлшерлерінің өзгеру сипаты (Сурет 1) келтірілген. Қалдықтағы Mg мөлшерінің бірқалыпты азаюы және Si мөлшерінің артуы күкірт қышқылы мен СҚ арасындағы өзара әрекеттесудің кезеңдік-қабаттық сипатта жүретінін көрсетеді.



Сурет 1 – Серпентинит (СК-0) пен H_2SO_4 өзара әрекеттесуі кезінде түзілген ерімейтін қалдықтағы магний (1) мен кремний (2) концентрацияларының өзгеруі: 10 г серпентинит ($Mg - 0,11 M$)/ H_2SO_4 (0,1–1,0 моль/л), стехиометриялық қажетті мөлшер (СКМ), $\tau = 10$ мин, $t = 95$ °C.

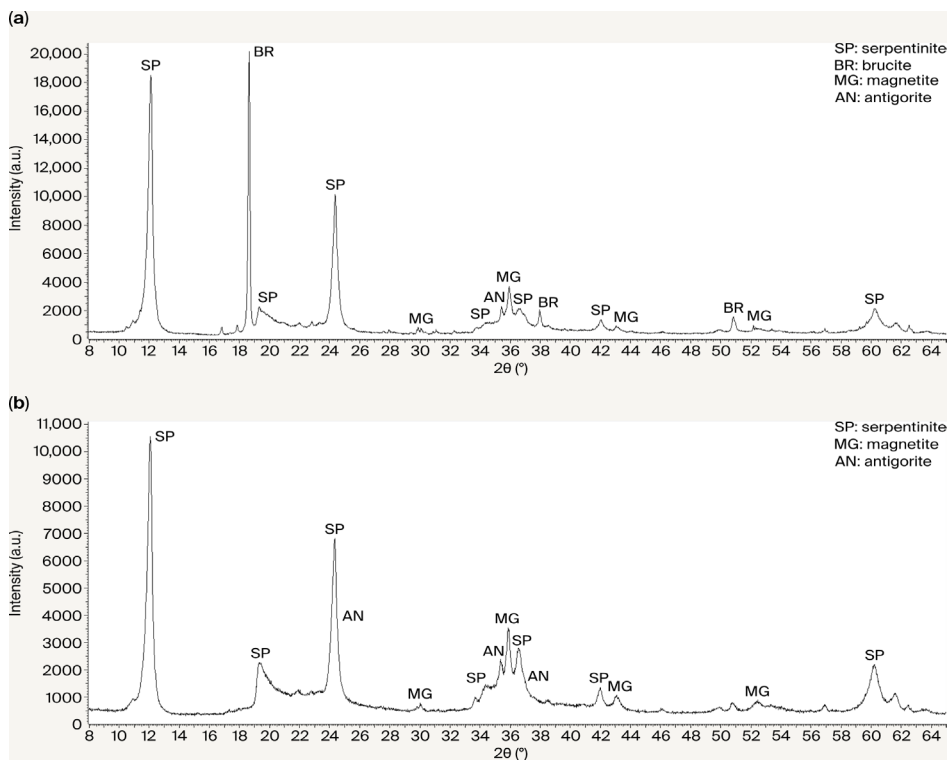
СК-ның 1,0 СКМ (H_2SO_4) ерітіндісімен өндеуге дейінгі және өндеуден кейінгі салыстырмалы энергодисперсиялық спектрлері (Сурет 2) қалдықтағы Mg мөлшерінің шамамен 60–65%-ға төмендейтінін көрсетеді. Қалдық құрамында шамамен 12% магний сақталады, олардың, ықтимал, СК талшықтарының бұзылмаған терең қабаттарында ғана орналасқаны байқалады.



Сурет 2 – Бастапқы серпентиниттің (а) және оны СК: $H_2SO_4 = 1:1$ стехиометриялық қажетті мөлшер қатынасында ерітіндімен өндегеннен кейінгі (b) энергодисперсиялық спектрлері.

Бұзылмаған қабат-пакеттер өздерінің молекулалық-құрылымдық қаңқасын сақтайды, олар H^+ -иондарының СК бөлшектерінің терең қабаттарына одан әрі диффузиялық енуін шектейтін тығыз гидратталған кремнеземді беткі қабатпен қорғалғанын меңзейді.

РФТ және ИҚ-Фурье спектроскопиясы. Бастапқы серпентинитті қышқылды-сілтілі өңдеу процестері барысында жүретін фазалық өзгерістер (Сурет 3а, 3б) көрсетілген. Бастапқы серпентиниттік қалдық дифрактограммасында (а) келесі фазалар идентификацияланды: серпентин-хризотил (SP), антигорит (AN) – $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, брусит (BR) және магнетит – Fe_3O_4 . Қышқылмен өңделген серпентинит (СҚ-1) дифрактограммасында (б) келесі фазалар анықталды: хризотил (СК), антигорит (AN)– $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ және магнетит– Fe_3O_4 . Қышқылдық өңдеуден кейінгі фазалық құрамның негізгі өзгерістеріне жазықаралық арақашықтықтары $d/n = 4,77; 2,365; 1,794 \text{ \AA}$ болатын брусит $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ (BR) рефлекстерінің жойылуы жатады. Серпентинитті күкірт қышқылымен өңдеу кезінде аморфты кремнеземнің түзілуіне байланысты фазалық өзгерістер қышқылда ерімейтін қалдықтың дифрактограммасында айқын байқалмайды. Алайда, серпентиниттің (СҚ) негізгі $d/n = 7,38; 3,661; 2,487; 1,53 \text{ \AA}$ шыңдарының интенсивтілігінің екі есеге төмендеуі серпентинит бөлшектерінің бетінде аморфты, Si-ге бай қабаттың түзілуімен байланысты болуы мүмкін.

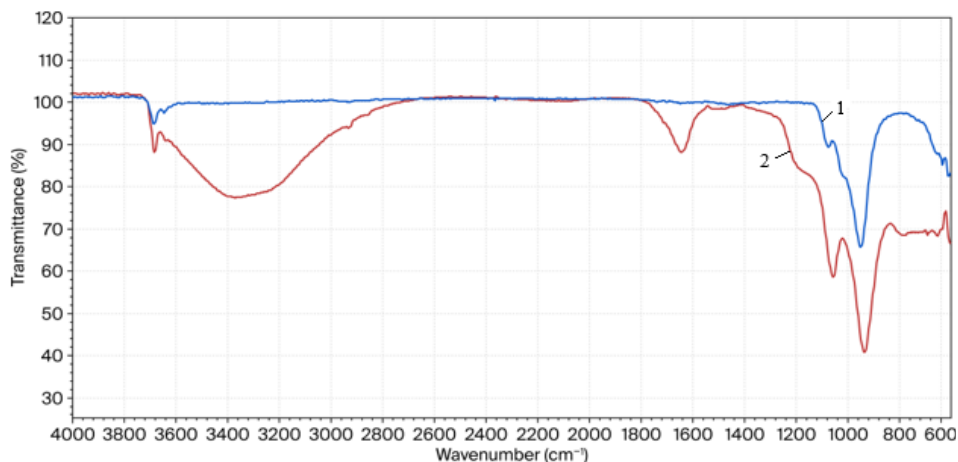


Сурет 3 – Бастапқы серпентинит қалдығының (СҚ-0) (а), қышқылда ерімейтін қалдығының (СҚ-1) (б) рентгендік дифрактограммалары.

Қышқылдық қалдықты (СҚ-1) сілтілік өңдеу кезінде серпентинит минералдарының (СҚ-0) сипаттамалық рентгендік рефлекстері бастапқы

интенсивтіліктерін қайта қалпына келетіні байқалды. Серпентиниттің бастапқы құрылымдық текстурасы қайта түзіледі. Сілтілік қалдықты қышқылмен қайта өңдеу кезінде (қосымша тексеру) (СҚ-3) қайтадан гидратталған аморфты кремнезем фазасының — $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ түзілуі тіркелді. Бұл кезде серпентинит шыңдарының интенсивтілігі қайтадан төмендейді. Серпентинитті қышқылды-сілтілі өңдеу барысында дифрактограммаларда байқалған өзгерістер қышқыл әсеріне көпқабатты магний гидросиликатының беткі қабаты ұшырайтынын көрсетеді. Қышқыл бір мезгілде магнийдің еруін жеделдетіп, кремнеземнің полимерлену және флокуляциялану жылдамдығын модификациялайды. Нәтижесінде гель тәрізді, Si-ге бай қабат түзіледі.

Серпентиниттің силикатты фрагменттерінің қышқылдық өңдеу кезінде аморфты кремнеземге трансформациялану механизмі (Auyeshov et al., 2024) жұмыста ұсынылған. H_2SO_4 ерітінділерімен, концентрациясы $C = 0,7-1,0$ СҚМ-ға (стехиометриялық қажетті мөлшер) жуық жағдайда қышқылмен өңделген серпентинит үлгілерінің ИҚ-Фурье спектрлерінде (Сурет 4) аморфты кремнеземге тән жұтылу жолақтары — ($\nu_{\text{as}}(\text{Si-O-Si})$) және Si-OH гидроксил топтарының сипаттамалық жолақтары анықталды. Анықталған бұл жұтылу жолақтары серпентиниттің кристалдық торындағы тетраэдрлі-октаэдрлі қабатты құрылым тұтастығының едәуір бұзылуын да бір мезгілде дәлелдейді. Сонымен қатар, ИҚ-Фурье спектрлерінде темірге байланысты тербелістер анықталған жоқ. Болжам бойынша, еріту процесі кезінде изоморфты түрде енген темір атомдары Si-ге бай қабаттың түзілуіне қатыспайды.



Сурет 4 – Бастапқы СҚ-0 үлгісінің (1) және өңдеуден кейінгі қышқылда ерімейтін қалдықтың (СҚ-1) (2) ИҚ-спектрлері (Auyeshov et al., 2024).

$1160-2040 \text{ см}^{-1}$ аймағындағы кең әрі терең шыңдар байланыс энергияларының кең диапазонына ие әртүрлі қышқылдық силанолды ($-\text{Si-OH}^+$) топтардың пайда болуын көрсетеді, ал $3200-3600 \text{ см}^{-1}$ аймағындағы жолақтар серпентинит бөлшектерінің бетінде кремнеземнің әртүрлі силосанды ($-\text{Si-O-Si-OH}^+$)

гидратталған топтарының — мономерлердің, димерлердің, три-, тетра-, полимерлердің және тармақталған тізбектерінің түзілуін, сондай-ақ бөлшек бетінде $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ қабатының қалыптасуы мен гель түзілу процесінің басталуын көрсетеді (Chukin, 2008).

Эксперименттік, РФТ және ИҚ-Фурье зерттеулері негізінде алынған нәтижелер «СҚ- H_2SO_4 » жүйесінде түзілетін аморфты кремнеземді қышқылды-сілтілі аралас әдісті қолдану арқылы жеке өнім ретінде бөліп алуға болатындығын болжауға мүмкіндік береді.

Аморфты кремнеземді комбинациялық қышқылды-сілтілі әдіспен алу және оның сипаттамалары.

Бастапқы СҚ-1 үлгісін күкірт қышқылы ерітіндісімен шаймалау нәтижесінде алынған қышқылда ерімейтін қалдықтың элементтік талдау нәтижелері бойынша оның құрамындағы элементтердің массалық үлестері келесідей анықталды: Mg – 15,0%; Si – 21,22%; Fe – 3,0%; Cr – 0,19%; S – 3,18%.

Магний, кремний және оттек мөлшерлері бойынша жүргізілген стехиометриялық есептеулер нәтижесінде аталған қалдықтың құрамы шартты түрде $1,25\text{MgO} \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (СҚ-1) формуласына сәйкес келетіні анықталды. Қышқылдық өңдеуден кейін алынған массасы 83,6 г ерімейтін қалдық (СҚ-1) кейіннен сілтілік өңдеуге ұшыратылды. Берілген құрамның NaOH ерітіндісімен әрекеттесу стехиометриясын және кремнеземді тұндыру шарттарын анықтауға арналған есептеулер 2-кестеде келтірілген (1) және (2) теңдеулерге сәйкес жүргізілді.

Кесте 2 – Кремнеземді тұндыру мақсатында СҚ-1-дің NaOH-пен сандық әрекеттесу теңдеулері мен есептеулері

СҚ-1 ерімейтін қалдығын сілтімен (NaOH) өңдеу									
$1,25\text{MgO} \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	+	3NaOH	=	$1,5\text{Na}_2\text{SiO}_3$	+	1,25MgO	+	$4,5\text{H}_2\text{O}$	(1)
194		120		183		50		81,00	
83,6		51,7		78,86		21,54		34,90	
Сілтілік гельді қышқылмен өңдеу және кремнеземді тұндыру									
Na_2SiO_3	+	H_2SO_4	=	SiO_2	+	Na_2SO_4	+	H_2O	(2)
122		98		60		142		18,00	
78,86				38,78					

(1)-теңдеуге сәйкес (Кесте 2), өңдеу үшін 325 см^3 4,0 М NaOH ерітіндісі ($\rho = 1,155 \text{ г/см}^3$) пайдаланылды.

Бастапқы үлгінің (СҚ-0), қышқылдық қалдықтың (СҚ-1) және сілтілік қалдықтың (СҚ-2) элементтік талдауы СҚ-0 үлгісін екі сатылы, яғни қышқылдық және кейінгі сілтілік өңдеуден кейін, СҚ-2 қалдығы негізгі элементтер – Mg және Si мөлшері бойынша бастапқы СҚ-0 құрамына жақындайтынын көрсетті. СҚ-0 үлгісінде Mg/Si мольдік қатынасы 1,68 болса, СҚ-2 үлгісінде бұл көрсеткіш 1,56 құрады. Бұл деректер сілтілік өңдеуден кейін, яғни СҚ-1 бөлшектерінің беткі қабатындағы кремнезем қабаты жойылғаннан соң, ішкі қабаттарда серпентиниттік құрылымның $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ сақталатынын көрсетеді. Осы болжамды растау

мақсатында массасы 36 г болатын сілтілік өңдеу қалдығы (СҚ-2) 2,0 М H_2SO_4 ерітіндісімен қайтадан қышқылдық шаймалауға ұшыратылды (3-саты). Алынған қышқылдық қалдық (СҚ-3) кейіннен сілтілік өңдеуден өткізіліп, нәтижесінде сілтілік қалдық (СҚ-4) алынды. 3-сатыдағы (H_2SO_4 -пен өңдеу) және 4-сатыдағы (NaOH-пен өңдеу) эксперименттерді жүргізу әдістемелері 1 және 2-сатылардағы әдістемелермен ұқсас болды. Алынған СҚ-3 және СҚ-4 қалдықтары алдыңғы СҚ-1 және СҚ-2 үлгілері сияқты талданды. Кезекті қышқылды-сілтілі (H_2SO_4 және NaOH) өңдеуден кейін түзілген ерімейтін қалдықтардың элементтік талдауының жинақталған нәтижелері, үш параллель эксперименттің орташа мәні ретінде, 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Серпентинитті қалдықты (СҚ-0) H_2SO_4 және NaOH ерітінділерімен кезекті қышқылды-сілтілі өңдеу кезінде ерімейтін қалдықтардың элементтік құрамының (%) өзгеру балансы

Элемент	Бастапқы	1-саты H_2SO_4	2-саты NaOH	3-саты H_2SO_4	4-саты NaOH
Шифр	СҚ-0	СҚ-1	СҚ-2	СҚ-3	СҚ-4
O	51,68	60,04	48,71	42,50	35,71
Mg	25,60	12,61	25,01	12,81	22,95
Al	0,47	0,19	0,27	-	-
Si	17,95	21,04	18,71	31,90	18,17
S	-	4,85	-	-	-
Ca	0,56	0,05	0,18	-	-
Cr	0,20	0,04	0,17	0,04	0,32
Mn	0,11	-	-	-	-
Fe	3,43	3,00	6,95	12,75	22,85
%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Қалдықтардың шартты құрамы	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$1,25\text{MgO} \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$1,13\text{MgO} \cdot 0,72\text{SiO}_2 \cdot 0,72\text{H}_2\text{O}$	$0,53\text{MgO} \cdot 1,14\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$1,24\text{MgO} \cdot 0,84\text{SiO}_2$

3-кесте деректерінен сілтілік өңдеуден кейінгі (2 және 4-сатылар) негізгі элементтер – магний мен кремнийдің мөлшері бастапқы серпентиниттегі (СҚ-0) олардың құрамына жақындайтыны байқалады. Қышқылда ерімейтін қалдықтардың шартты құрамдарында қышқылды-сілтілі өңдеу сатыларының артуына байланысты магний мен кремнийді бөліп алу процесі кремниймен байытылумен қатар жүреді. Осыған сәйкес $\text{СҚ-0} \rightarrow \text{СҚ-1} \rightarrow \text{СҚ-3}$ қатарында MgO/SiO_2 қатынасы тиісінше $1,5 \rightarrow 0,83 \rightarrow 0,46$ дейін төмендейді.

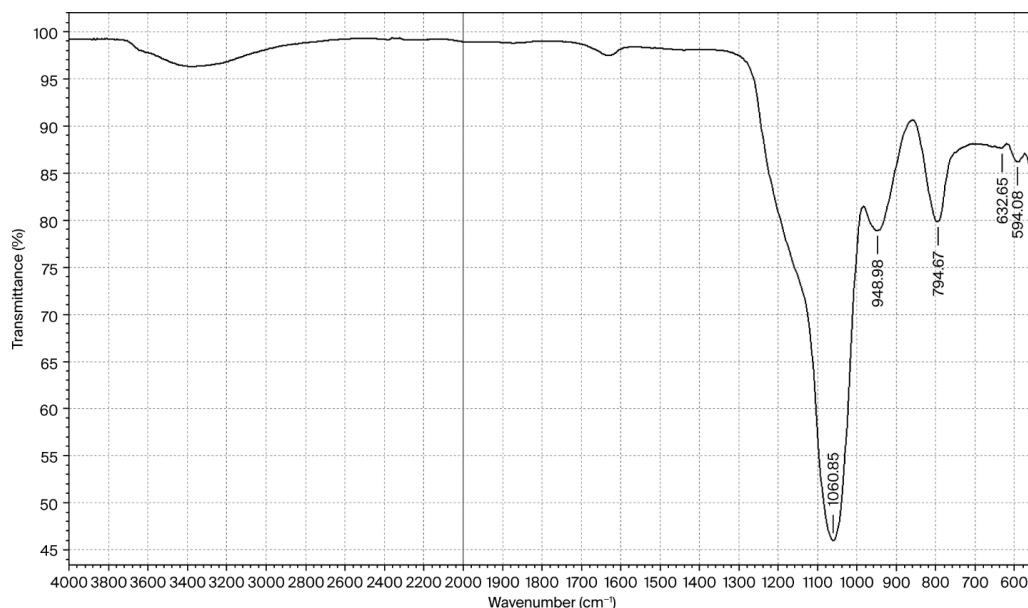
Аморфты кремнеземнің шығымы (екі қышқылдық және екі сілтілік өңдеу сатысынан кейін) келесідей болды: 83,6 г қышқылдық қалдықтан (СҚ-1) – 95,78%; бастапқы үлгіден (СҚ-0) – 60,3%.

Осылайша, алынған нәтижелер серпентинитті қышқылды-сілтілі әдіспен өңдеу кремнийді жеткілікті жоғары шығыммен селективті түрде бөліп алуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сонымен қатар, қышқылдық және сілтілік экстракция сатыларының санын реттеу арқылы кремнийді бөліп алу дәрежесін басқаруға болады.

Аморфты кремнеземнің адсорбциялық сипаттамалары. Комбинациялық қышқылды-сілтілі әдіспен алынған аморфты кремнезем индуктивті байланысқан плазмалы масс-спектрометрия (ICP-MS, Thermo iCAP-Q), ИҚ-Фурье спектроскопиясы (FTIR) және БЭТ-адсорбция әдістері арқылы зерттелді.

ICP-MS (Thermo iCAP-Q) әдісімен жүргізілген аморфты SiO_2 құрамын зерттеу нәтижесінде алынған аморфты SiO_2 құрамында келесі қоспа элементтердің бар екені анықталды, масс. %: Al–0,1696; Ca–0,2025; Na–0,7010. Қоспалардың жалпы мөлшері ~1,08%-ды құрады, сондай-ақ құрамында ~4,02% адсорбцияланған H_2O анықталды.

Алынған өнімнің құрамы формальды түрде $\text{SiO}_2 \cdot 0,36\text{H}_2\text{O}$ формуласына сәйкес келеді. Аталған құрамдағы аморфты кремнеземнің ИҚ-спектрі келтірілген (Сурет 5).



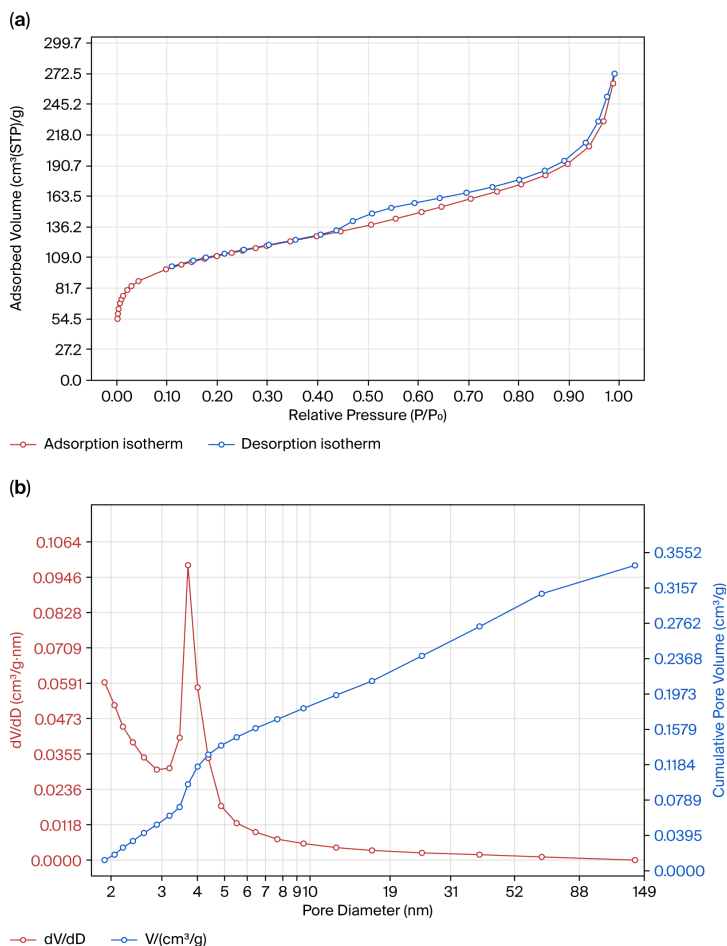
Сурет 5 – $\text{SiO}_2 \cdot 0,36\text{H}_2\text{O}$ құрамды кремнеземнің ИҚ-спектрі.

Кремнеземнің ИҚ-спектрінде су молекулаларына тән валенттік және деформациялық тербелістер келесі жиіліктерде байқалады: ($\nu_{\text{as}} \text{O-H}$) 3200–3600 cm^{-1} және ($\delta \text{H-O-H}$) 1642 cm^{-1} . Сонымен қатар, силоксан тобының асимметриялық және симметриялық валенттік тербелістері – ($\nu_{\text{as}} \text{Si-O-Si}$) 1064 cm^{-1} және ($\nu_{\text{s}} \text{Si-O-Si}$) 794 cm^{-1} , сондай-ақ силанол тобына тән ($\nu \text{Si-OH}$) 948 cm^{-1} жолақтары анықталды. Аталған тербелістер аморфты кремнеземге тән сипаттамалық жолақтар болып табылады (Chukin, 2008).

Аталған кремнезем үшін азоттың адсорбция–десорбция изотермасының гистерезис ілмегінің пішіні IV типті изотермаға және H3 типті гистерезиске сәйкес келеді (Сурет 6а). Бұл қатты зат кеуектерінде азоттың ішінара

конденсациялануымен сипатталатын микро- және мезокеуекті құрылымның бар екенін көрсетеді. Салыстырмалы төмен қысым аймағында $P/P_0 = 0-0,2$ кезінде сорбциялық қисықтың 0-ден $90 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ дейін күрт жоғарылауы өлшемі $0,35-2 \text{ нм}$ аралығындағы микрокеуектердің болуын көрсетеді. Десорбциялық тармақтағы шағын иіннің байқалуы кеуектердің саңылау тәрізді сипатын растайды. Изотермада $P/P_0 = 0,2-0,96$ аралығында адсорбция мөлшерінің $90 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ -нан $204 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ -ға дейін едәуір артуы микро- және мезокеуектердің қатар болуын дәлелдейді. Ал $P/P_0 > 0,96$ болғанда адсорбция мөлшерінің қосымша $65-68 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ -ға жоғарылауы макрокеуектердің ($50-200 \text{ нм}$) бар екенін көрсетеді.

Сонымен қатар, зерттелген кремнезем құрылымында микрокеуектер мен мезокеуектердің үлесі басым екені анықталды, бұл микрокеуекті сорбенттерге тән қасиет болып табылады. Мұны төмен қысымдар аймағында және $P/P_0 = 0,96$ дейін сорбциялық қисықтың күрт жоғарылауы айқын дәлелдейді.



Сурет 6 – Синтезделген аморфты кремнеземнің 77 К температурадағы азот адсорбциясы-десорбциясы изотермалары (БЕТ) (а) және кеуектердің таралуы (ВЖН) (b).

ВЈН әдісі бойынша (десорбция тармағы) кеуектердің таралуын талдау (Сурет 6b) шамамен ~3,7 нм аймағында айқын максимумның бар екенін көрсетті, бұл мезокеуектердің басым екенін және материал құрылымының біртектілігін білдіреді. Сонымен қатар, DR және DA әдістерімен расталған 1,7–2,1 нм аралығындағы микрокеуектердің болуы да анықталды.

Кеуектердің диаметр бойынша таралуы алынған кремнеземнің микро- және мезокеуекті құрылымға ие екенін дәлелдейді. Микрокеуектердің (0,35–2 нм) үлесі меншікті бет ауданы бойынша 46%-ды, ал кеуек көлемі бойынша 21%-ды құрайды. Ал мезокеуектердің (2–10 нм) үлесі бет ауданы бойынша 48%-ды және кеуек көлемі бойынша 42%-ды қамтамасыз етеді. Осылайша, микро- және мезокеуектер жиынтық түрде жалпы бет ауданының 95%-ын және кеуек көлемінің 63%-ын құрап, синтезделген кремнезем құрылымының біртектілігін растайды.

Кеуектердің жалпы көлемінің $0,418 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ болуы материалдың дамыған кеуекті құрылымға ие екенін көрсетеді, бұл оны адсорбциялық және каталитикалық қолданулар үшін перспективалы материал ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Кремнеземнің текстуралық қасиеттерін сипаттайтын негізгі параметрлер 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4 – Кремнеземнің текстуралық қасиеттерін сипаттайтын негізгі параметрлер

Үлгі	S, $\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$	ΣV_{pore} , $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	V_{micro} , $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	davg, нм		dmode, нм	Изотерма түрі	Гистерезис ілмегі
Аморфты кремнезем (SiO_2)	400,06 (BET, $P/P_0=0,02-0,13$); 559,13 (Langmuir)	0,42 (T-Plot); 0,42 (Langmuir)	0,09 (T-Plot); 0,15 (DR), 0,16 (H-K orig)	4,18 (BET); 1,57 (DR micro)	5,68 (ВЈН десорб.); 1,82 (DA micro);	3,73 (ВЈН десорб.); 2,14 (DA)	IV	H3
Ескерту: $S_{\text{м.а.}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ – меншікті беткі аудан; $\Sigma V_{\text{кеуек}}$, $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ – барлық кеуектердің жалпы көлемі; $V_{\text{микрокеуек}}$, $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ – микрокеуектердің үлесі; davg, нм – кеуектердің орташа диаметрі; dmode, нм – кеуектердің ең ықтимал диаметрі								

Кремнеземнің текстуралық сипаттамаларын талдау материалдың жоғары меншікті беткі ауданға ие екенін көрсетті: BET (БЭТ) әдісі бойынша $400 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ және Langmuir әдісі бойынша $559,13 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$, бұл оның дамыған мезокеуекті құрылымымен сәйкес келеді. Кеуектердің жалпы көлемі $0,418 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ құрады, ал микрокеуектердің үлесі (T-plot әдісі бойынша) $0,089 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ -ға тең болды, бұл материалдың микро- және мезокеуекті аралас құрылымға ие екенін растайды.

BET әдісі (4V/S) бойынша кеуектердің орташа диаметрі 4,18 нм болса, ВЈН әдісімен (десорбция тармағы бойынша) анықталған мәні жоғарырақ – 5,68 нм, бұл мезокеуектердің таралу ерекшеліктерімен байланысты. ВЈН-десорбция әдісі бойынша кеуектердің ең ықтимал диаметрі (dmode) 3,73 нм құрап, салыстырмалы түрде тар саңылаутәрізді мезокеуектердің басым екенін көрсетті.

DR және DA әдістері бойынша жүргізілген қосымша есептеулер диаметрі 1,57–2,14 нм болатын микрокеуектердің бар екенін анықтады, ал Хорват-Кавазое (H-

К) әдісі де шамамен 1,6–1,9 нм аралығындағы микрокеуектердің болуын растады. Осылайша, материал кеуектердің бимодальды таралуымен сипатталады: <2 нм аймағындағы микрокеуектер және шамамен 3–6 нм аралығындағы мезокеуектер. Текстуралық қасиеттерге негізгі үлесті диаметрі 3–6 нм болатын мезокеуектер қосады, олардың үлесіне меншікті беткі ауданның ~ 64%-ы және кеуек көлемінің ~ 52%-ы тиесілі. Ал микрокеуектердің (<2 нм) үлесі беткі аудан бойынша ~ 21%-ды және көлем бойынша ~ 46%-ды құрайды. Мезокеуектердің тар диапозонда таралуы мен олардың микрокеуектермен үйлесуі синтезделген кремнеземнің құрылымдық біртектілігін дәлелдейді. IUPAC классификациясына сәйкес, кремнеземнің азоттық адсорбция-десорбция изотермасы НЗ типті гистерезис ілмегі бар IV типке жатады, бұл агрегатталған пластина тәрізді бөлшектерден түзілген саңылаутәрізді кеуектері бар мезокеуекті материалдарға тән. Жоғары меншікті беткі аудан ($400 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$) және кеуектердің едәуір жалпы көлемі ($0,418 \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$) IUPAC-тың 2015 жылғы жаңартылған ұсынымдарына сәйкес (Thommes et al., 2015), «жақсы дамыған мезокеуекті құрылым» ретінде сипатталады және өнеркәсіптік адсорбенттерге (кептіргіштер, катализатор тасымалдағыштары, хроматография материалдары) қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

Осы зерттеулер барысында кремнеземді қышқылда ерімейтін қалдықтан бөліп алуға әсер ететін басқа параметрлерге (температура, реагенттердің стехиометриялық қатынасы және басқа факторлар) ерекше назар аударылған жоқ. Алайда алынған нәтижелер серпентинитті қышқылды-сілтілі кешенді өңдеу әдісін қолдану арқылы жақсы текстуралық сипаттамаларға ие аморфты кремнезем алуға болатынын көрсетті.

Қорытынды. Серпентинит қалдықтарын қышқылды-сілтілі кешенді өңдеу әдісі магнийді тиімді еріту және кремнийді селективті бөліп алу арқылы дәстүрлі бірсатылы тәсілдердің шектеулерін еңсеруге мүмкіндік береді. Қышқылдық өңдеу нәтижесінде түзілетін беткі кремнезем қабатының сілтіде еруі H_3O^+ иондарының минералдың ішкі қабаттарына кейінгі енуін келесі қышқылдық өңдеу кезеңінде жеңілдетеді. Алынған аморфты кремнезем жоғары тазалықпен (>95% SiO_2) және дамыған мезокеуекті құрылыммен сипатталады, бұл оны адсорбент немесе катализатор тасымалдағышы ретінде қолдануға перспективалы материал етеді. Алынған нәтижелер серпентиниттен магний мен кремнийді қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен бөліп алу технологиясын одан әрі дамытуға, серпентиниттерді өңдеудің жаңа технологиялық сызбаларын әзірлеуде пайдалы және олардың өміршеңдігін арттыруға мүмкіндік береді. Практикалық тұрғыдан алынған аморфты кремнеземді адсорбент ретінде қолдану перспективасы бар зерттеу бағыты екендігі анықталды.

References

- Auyeshov A., Arynov K., Yeskibayeva Ch., Dikanbayeva A., Auyeshov D., Raiymbekov Y. (2024) Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentinite. *Molecules*, 29:2502. DOI: 10.3390/molecules29112502 (in Eng.).
- Carmignano O.R.D.R., Vieira S.S., Brandão P.R.G., Bertoli A.C., Lago R.M. (2020) Serpentinites: Mineral Structure, Properties and Technological Applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31:2–14. DOI: 10.21577/0103-5053.20190215 (in Eng.).

Cakan Y. and Gonen M. (2024) Amorphous Silica Production from Serpentine and its Techno-Economic Analysis. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section B*, 7:61–68. DOI: 10.58692/jotcsb.1435352 (in Eng.).

Chukin G.D. (2008) *Himiya poverhnosti i stroenie dispersnogo kremnezema* [Surface chemistry and structure of dispersed silica]. Moscow: Paladin Printa LLC. — 172 p. (in Russ.).

Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H. (Eds.). (2001) *Silicon in Agriculture*. Studies in Plant Science. Amsterdam: Elsevier, 8:403 (in Eng.).

Fedoročková A., Raschman P., Sučík G., Plešingerová B., Popovič L., Briančin J. (2015) Processing of serpentinite tailings to pure amorphous silica. *Ceramics–Silikáty*, 59:275–282 (in Eng.).

Huijgen W.J.J. and Comans R.N.J. (2005) Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation. ECN Report (in Eng.).

Kelemen P.B., Matter J.M., Streit E.E., Rudge J.F., Curry W.B., Blusztajn J. (2011) Rates and mechanisms of mineral carbonation in peridotite: Natural processes and recipes for enhanced, in situ CO₂ capture and storage. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39:545–576. DOI: 10.1146/annurev-earth-092010-152509 (in Eng.).

Lazaro A., Chen Y., Verhoeven C., Hendrix Y. (2019) One-step synthesis of ordered mesoporous silica from olivine and its pore size tailoring. *Journal of Cleaner Production*, 238:117951. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117951 (in Eng.).

Matus M., Korbicz A., Pietrzyk S. (2020) Mechanism of Nickel, Magnesium, and Iron Recovery from Olivine-Bearing Ore during Leaching with Hydrochloric Acid Including a Carbonation Pre-Treatment. *Metals*, 10:811. DOI: 10.3390/met10060811 (in Eng.).

Peng X., Liu W., Liu W., Zhao P., Yu X., Wang Y. (2022) Fabrication of eco-friendly adsorbent derived from serpentine tailings for removal of organic dyes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 643:128761. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2022.128761 (in Eng.).

Raza N., Raza W., Madeddu S., Agbe H., Kumar R.V., Kim K.-H. (2018) Synthesis and characterization of amorphous precipitated silica from alkaline dissolution of olivine. *RSC Advances*, 8:32651–32658. DOI: 10.1039/C8RA06257A (in Eng.).

Shayakhmetova R.A., Mukhametzhanova A.A., Akbayeva D.N., Terlikbayeva A.Zh., Osipov P.A., Alimzhanova J.M., Zharmenov A.A. (2024) Magnesium and silicon recovery from chrysotile asbestos waste of the deposit Zhitikara, Kazakhstan. *Scientific Reports*, 14:83239. DOI: 10.1038/s41598-024-83239-0 (in Eng.).

Teir S., Revitzer H., Eloneva S., Fogelholm C.-J., Zevenhoven R. (2007) Dissolution of natural serpentinite in mineral and organic acids. *International Journal of Mineral Processing*, 83:36–46. DOI: 10.1016/j.minpro.2007.04.001 (in Eng.).

Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V., Olivier J.P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J., Sing K.S.W. (2015) *Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution* (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87:1051–1069. DOI: 10.1515/pac-2014-1117 (in Eng.).

Ulum R., Natalin R., Ahmad M. (2023) Pyro-Hydrometallurgy Routes to Recover Silica from Indonesian Ferronickel Slag. *Recycling*, 8:13. DOI: 10.3390/recycling8010013 (in Eng.).

Vieira K.R.M., Arce G.L.A.F., Luna C.M.R., Facio V.O., Carvalho Jr. J.A., Soares Neto T.G., Ávila I. (2022) Understanding the acid dissolution of serpentinites (tailings and waste rock) for use in indirect mineral carbonation. *South African Journal of Chemical Engineering*, 40:154–164. DOI: 10.1016/j.sajce.2022.02.005 (in Eng.).

Wang L., Lu A., Wang C., Zheng X., Zhao D., Liu R. (2006) Nano-fibriform production of silica from natural chrysotile. *Journal of Colloid and Interface Science*, 295:436–439. DOI: 10.1016/j.jcis.2005.08.055 (in Eng.).

Wypych F., Adad L.B., Mattoso N., Marangon A.A.S., Schreiner W.H. (2005) Synthesis and characterization of disordered lamellar silica obtained by selective leaching of octahedral sheets from chrysotile and phlogopite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 283:107–112. DOI: 10.1016/j.jcis.2004.08.139 (in Eng.).

Yang H., Du C., Hu Y., Jin S., Yang W., Tang A., Avvakumov E.G. (2006) Preparation of porous material

from talc by mechanochemical treatment and subsequent leaching. *Applied Clay Science*, 31:290–297. DOI: 10.1016/j.clay.2005.10.015 (in Eng.).

Zulumyan N.O., Oganessian E.B., Oganessian Z.G., Karahanyan S.S. (2002) O termokislotoj obrabotke serpentinitov severo-vostochnogo poberezh'ya ozera Sevan [On thermoacid treatment of serpentinites of the northeastern coast of Lake Sevan]. *Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia*, 102:238–242. (in Russ.).

**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