

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№2
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

2 (467)

APRIL – JUNE 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 Шариша 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

Akimbekova B.B., Karilkhan A., Zhorabek A.A., Bakyt Z.E. Selective flotation of sulfide copper ores.....	11
Assembayeva E.K., Dikhanbay S. Zh., Nurmukhanbetova D. E., Toktamyssova A.B., Tulegenova G. Physical, chemical, and biochemical properties of vegetable juices fermented by the <i>Lactobacillus plantarum</i> strain.....	23
Baidul M., Zhalgasbek N., Shybyray Ye., Muzaffarova N.Sh., Jenis J. Determination of antimicrobial activity and GC-MS analysis of <i>Artemisia scopiforme</i> extract.....	41
Baikenov Ye.A., Safarov R.Z., Shomanova Zh.K. TGA-DSC quantification of calcite with XRF cross-validation in Central Kazakhstan manganese ores.....	55
Baisalova G., Bauyrzhan A., Bakdaulet A., Taltenov A., Akpayeva K. Determination of sodium and potassium ion content in the plant common mallow by a potentiometric method with an ion-selective electrode.....	75
Duzelbayeva S.D., Kassenova B.A., Akhatova Z.S., Konuspayev S.R. The composition of wool fat and its physiological effect on living organisms.....	88
Erkinqyzy A., Zholdas M., Kudaibergenova B.M., Dyusebaeva M.A. Study of the pharmacognostic characteristics of <i>Maclura pomifera</i>	104
Yegissinova A.M., Nurlybayeva A.N., Taubayeva R.S., Seitkan A.S., Matniyazova G.K. Effect of ultrasound-treated cellulose filler on the morphology and intermolecular interactions of TPS matrix.....	118
Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A., Olzhabekova G. Study of the sorption capacity of an interpolymer system based on industrial ion exchangers KU-2-8 and AV-17-8 towards vanadium and molybdenum ions.....	131
Zamanbekova A.T., Talgatov E.T., Jumekeyeva A.I., Akhmetova S.N., Saryuisin S.N. Sorption properties of titanium dioxide toward polymer modifiers of different nature.....	143
Imangaliyeva B., Arynova K., Trenova A., Kozhabay D., Azamatkyzy A. Production of organic glue based on fish scales, study of properties.....	161
Kabdraisova A.Zh., Berganayeva A.E., Baiburkutova M.A., Sadvakas A.M., Bekesheva K.B. Molecular iodine from antiseptic iodophors: compatibility with pharmaceutical excipients and UV–Vis spectroscopic evaluation.....	176

Kanykeshova A.A., Kunarbekova M., Toktar M., Abdukhalikova Sh., Azat S. Hydrothermal and microwave synthesis of porous carbon materials from coffee grounds using KOH and H ₃ PO ₄ for activation.....	191
Kenzhaliev B., Koizhanova A., Abdyl daev N., Magomedov D., Yerdenova M. Study of the behavior of impurity elements during the chemical leaching of copper ore.....	209
Kipchakbayeva A.K., Tagabay A.K., Targyn A.B. Phytochemical analysis of extractive substances and biologically active compounds of <i>Verbascum thapsus</i> l.	223
Kuandykova A.B., Dzhiembaev B.Zh. Synthesis of dialkyl N-(2-phenylethyl)- and N-[2-(3,4-dimethoxyphenyl) ethyl] amidophosphates under todd-atherton reaction conditions.....	238
Omarova A.A., Nurzhanova S.B., Medetkyzy Z., Saidilda G.T., Abilmagzhanov A.Z. Production of high-octane gasoline by processing N-alkanes over a zeolite-containing catalyst.....	253
Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Ilyassova O.S., Kassymkhan K. Steam reforming of bioethanol on a catalyst synthesized by the pechini method.....	272
Seitmagzimova G., Serikbayeva Zh., Serikbaeva B. The effect of phosphorite composition on the decomposition efficiency and filtration properties of phosphogypsum.....	286
Suleimenova M., Jumadilov T., Gražulevičius J. Selective sorption of gold and iron ions from cyanide solutions using Lewatit(h ⁺)–AV-17-8(OH ⁻) and Lewatit(Na ⁺)–AV-17-8(Cl ⁻) interpolymer systems.....	304
Taganov Zh., Kozhanova K., Mombekov S., Ewa P., Jumabayeva S. Stability evaluation of multi-polymer hydrogel bases intended for topical probiotic and postbiotic delivery systems.....	319
Taussarova B.R., Shaikhova Zh.E., Abilkasova S.O. Synthesis of silver nanoparticles to impart antimicrobial properties to biodegradable packaging materials.....	331
Tleuova S.T., Zhussipbek G.S., Raiymbekov Y., Nazarbek U., Pochitalkina I.A. Compositional and microstructural features of lignite deposits.....	347
Toleubekova A., Amantaiuly K., Toktassynov S.K., Toshtay K. Trans and saturated fatty acids in edible oils and fat-based products.....	359

МАЗМҰНЫ

Акимбекова Б.Б., Карилхан А., Жорабек А.А., Бақыт З.Е. Сульфидті мыс кендерін селективті флотациялау.....	11
Асембаева Э.К., Диханбай С.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Токтамысова А.Б., Тулегенова Г.У. <i>Lactobacillus Plantarum</i> штаммымен ашытылған көкөніс шырындарының физика-химиялық және биохимиялық қасиеттері.....	23
Байдул М., Жалғасбек Н., Шыбырай Е., Музаффарова Н.Ш., Жеңіс Ж. <i>Artemisia Scopiforme</i> сығындысының микробқа қарсы белсенділігі мен GC-MS талдауы.....	41
Байкенов Е.А., Сафаров Р.З., Шоманова Ж.К. Орталық Қазақстан марганец кендеріндегі кальцитті ТГА-ДСК әдісімен сандық бағалау және РФА бойынша кросс-валидация.....	55
Байсалова Ғ., Бауыржан А., Бақдәулет А., А. Талтенов, Акпаева Қ. Орман құлқайыры өсімдігіндегі натрий және калий иондарының мөлшерін ионселективті электрод қатысында потенциометриялық әдіспен анықтау.....	75
Дүзелбаева С.Д., Қасенова Б.А., Ахатова З.С., Қонысбаев С.Р. Жүн майының құрамы және оның тірі организмге физиологиялық әсері.....	88
Еркинқызы А., Жолдас М., Қудайбергенова Б.М., Дюсебаева М.А. <i>Maclura Pomifera</i> өсімдігінің фармакогностикалық сипаттамаларын зерттеу.....	104
Егисинаова А.М., Нурлыбаева А.Н., Таубаева Р.С., Сейтқан А.С., Матниязова Г.К. Ультрадыбыстық өңделген целлюлоза толтырғышының ТПК матрицасының морфологиясы мен молекулааралық өзара әрекеттесуіне әсері.....	118
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А., Олжабекова Г. КУ-2-8 және АВ-17-8 өндірістік иониттері негізіндегі интерполимерлі жүйенің ванадий және молибден иондарын сорбциялау қабілетін зерттеу.....	131
Заманбекова А.Т., Талғатов Э.Т., Джумекеева А.И., Ахметова С.Н., Сарыүйсін С.Н. Табиғаты әртүрлі полимерлік модификаторларға қатысты титан диоксидінің сорбциялық қасиеттері.....	143
Имангалиева Б., Арынова К., Тренова А., Қожабай Д., Азаматқызы А. Балық қабыршағы негізінде органикалық желім алу, қасиеттерін зерттеу.....	161
Кабдраисова А.Ж., Берганаева А.Е., Байбуркутова М.А., Садвақас Ә.М., Бекешева Қ.Б. Антисептикалық йодофорлардан алынған молекулалық йод: фармацевтикалық қосалқы заттармен үйлесімділігін уф-спектроскопия әдісімен зерттеу.....	176

Қаныкешова А.А., Қунарбекова М.С., Тоқтар М., Абдухаликова Ш., Азат С. КОН және H_3PO_4 қолдана отырып, кофе ұнтағынан кеуекті көміртекті материалдарды гидротермальды және микротолқынды синтездеу.....	191
Кенжалиев Б., Қойжанова А., Абдылдаев Н., Магомедов Д., Ерденова М. Мыс шикізатын химиялық шаймалау кезіндегі қоспа элементтерінің әрекетін зерттеу.....	209
Кипчакбаева А.К., Тағабай Ә.Қ., Тарғын А.Б. <i>Verbascum Thapsus</i> L. өсімдігінің экстрактивті заттары мен биологиялық белсенді қосылыстарының фитохимиялық талдауы.....	223
Қуандықова А.Б., Джиембаев Б.Ж. Тодд-атертон реакциясы жағдайында диалкил N-(2-фенилэтил)- және N-[2-(3,4-диметоксифенил)-этил]амидофосфаттардың синтезі.....	238
Омарова А.А., Нуржанова С.Б., Медетқызы З., Сайділді Ғ.Т., Абиьмагжанов А.З. Цеолитқұрамды катализаторда қ-алкандарды өндеп жоғары сапалы бензин алу.....	253
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Ильясова О.С., Қасымқан Қ. Печини әдісімен синтезделген катализаторда бумен биоэтанолды реформингтеу.....	272
Сейтмагзимова Г.М., Серікбаева Ж.С., Серикбаева Б.С., 2026. Фосфорит құрамының ыдырау тиімділігіне және фосфогипстің сүзу қасиеттеріне әсері.....	286
Сүлейменова М., Джумадилов Т., Гражулявичюс Ю. Цианидті ерітінділерден алтын мен темір иондарын Lewatit(h^+)–AV-17-8(OH^-) және Lewatit(Na^+)–AV-17-8(Cl^-) интерполимерлік жүйелерімен селективті сорбциялау.....	304
Таганов Ж., Кожанова К., Момбеков С., Ева Р., Жұмабаева С. Көпполимерлі гидрогельді негіздердің топикалық пробиотикалық және постбиотикалық жеткізу жүйелері үшін тұрақтылығын бағалау.....	319
Таусарова Б.Р., Шаихова Ж.Е., Әбілқасова С.О. Биоыдырайтын орама материалдарына антимикробтық қасиет беру үшін күміс нанобөлшектерін синтездеу.....	331
Тлеуова С., Жүсіпбек Г., Райымбеков Е., Назарбек У., Почиталкина И. Қоңыр көмір кен орындарының құрамдық және микроқұрылымдық ерекшеліктері.....	347
Төлеубекова А.Ғ., Амантайұлы Қ., Токтасынов С.К., Тоштай Қ. Сұйық майлар мен май негізіндегі өнімдердегі транс және қаныққан май қышқылдары.....	359

СОДЕРЖАНИЕ

Акимбекова Б.Б., Карилхан А., Жорабек А.А., Бакыт З.Е. Селективная флотация сульфидных медных руд.....	11
Асембаева Э.К., Диханбай С.Ж., Нурмуханбетова Д.Е., Токтамысова А.Б., Тулегенова Г.У. Физико-химические и биохимические свойства овощных соков, ферментированных штаммом <i>Lactobacillus plantarum</i>	23
Байдул М., Жалгасбек Н., Шыбырай Е., Музаффарова Н.Ш., Женис Ж. Определение антимикробной активности и ГХ-МС-анализ экстракта <i>Artemisia scopiforme</i>	41
Байкенов Е.А., Сафаров Р.З., Шоманова Ж.К. Количественная оценка калыцита методом ТГА-ДСК с кросс-валидацией по РФА в марганцевых рудах Центрального Казахстана.....	55
Байсалова Г., Бауыржан А., Бакдаулет А., Талтенов А., Акпаева К. Определение содержания ионов натрия и калия в растении лесная мальва потенциометрическим методом с ионселективным электродом.....	75
Дузелбаева С.Д., Касенова Б.А., Ахатова З.С., Конуспаев С.Р. Состав шерстного жира и его физиологическое действие на живой организм.....	88
Еркинқызы А., Жолдас М., Кудайбергенова Б.М., Дюсебаева М.А. Изучение фармакогностических характеристик <i>Maclura pomifera</i>	104
Егиснинова А.М., Нурлыбаева А.Н., Таубаева Р.С., Сейткан А.С., Матниязова Г.К. Влияние обработанного ультразвуком целлюлозного наполнителя на морфологию и межмолекулярные взаимодействия в матрице ТПК.....	118
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А., Олжабекова Г. Исследование сорбционной способности интерполимерной системы на основе промышленных ионитов КУ-2-8 и АВ-17-8 по отношению к ионам ванадия и молибдена.....	131
Заманбекова А.Т., Талгатов Э.Т., Джумекеева А.И., Ахметова С.Н., Сарыүйсін С.Н. Сорбционные свойства диоксида титана по отношению к полимерным модификаторам различной природы.....	143
Имангалиева Б., Арынова К., Тренова А., Қожабай Д., Азаматқызы А. Получение органического клея на основе рыбной чешуи и изучение его свойств.....	161
Кабдраисова А.Ж., Берганаева А.Е., Байбуркутова М.А., Садвакас А.М., Бекешева К.Б. Молекулярный йод из антисептических иодофоров: исследование совместимости с фармацевтическими вспомогательными веществами методом УФ-спектроскопии.....	176

Каныкешова А.А., Кунарбекова М.С., Токтар М., Абдухаликова Ш., Азат С. Гидротермальный и микроволновый синтез пористых углеродных материалов из кофейного жмыха с применением КОН- и H_3PO_4 -активации.....	191
Кенжалиев Б., Койжанова А., Абдылдаев Н., Магомедов Д., Ерденова М. Исследование поведения примесных элементов при химическом выщелачивании медного сырья.....	209
Кипчакбаева А.К., Тагабай А.К., Таргын А.Б. Фитохимический анализ экстрактивных веществ и биологически активных соединений растения <i>Verbascum thapsus</i> L.....	223
Куандыкова А.Б., Джиембаев Б.Ж. Синтез диалкил N-(2-фенилэтил)- и N-[2-(3,4-диметоксифенил) этил] амидофосфатов в условиях реакции Тодда–Аттертона.....	238
Омарова А.А., Нуржанова С.Б., Медеткызы З., Сайділдә Ғ.Т., Абиьмагжанов А.З. Получение высокооктанового бензина путём переработки n-алканов на цеолитсодержащем катализаторе.....	253
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжуманова Т.С., Ильясова О.С., Касымқан К. Паровой риформинг биоэтанола на катализаторе, синтезированном методом Печини.....	272
Сейтмагзимова Г.М., Серикбаева Ж.С., Серикбаева Б.С. Влияние состава фосфорита на эффективность разложения и фильтрующие свойства фосфогипса.....	286
Сулейменова М., Джумадилов Т., Гражулявичюс Ю. Селективное извлечение ионов золота и железа из цианидных растворов интерполимерными системами Lewatit(H^+)–AV-17-8(OH^-) и Lewatit(Na^+)–AV-17-8(Cl^-).....	304
Таганов Ж., Кожанова К., Момбеков С., Poleszak E., Жумабаева С. Оценка стабильности многополимерных гидрогелевых основ, предназначенных для топических пробиотических и постбиотических систем доставки.....	319
Таусарова Б.Р., Шаихова Ж.Е., Абилкасова С.О. Синтез наночастиц серебра для придания антимикробных свойств биоразлагаемым упаковочным материалам.....	331
Тлеуова С., Жусипбек Г., Райымбеков Е., Назарбек У., Почиталкина И. Составные и микроструктурные особенности залежей бурого угля.....	347
Толеубекова А.Г., Амантайулы К., Токтасынов С.К., Тоштай К. Транс- и насыщенные жирные кислоты в пищевых маслах и жировых продуктах.....	359

© Omarova A.A., Nurzhanova S.B., Medetkyzy Z., Saidilda G.T.,
Abilmagzhanov A.Z., 2026.

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru

PRODUCTION OF HIGH-OCTANE GASOLINE BY PROCESSING n-ALKANES OVER A ZEOLITE-CONTAINING CATALYST

Omarova Aizhan — Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1399-103X>;

Nurzhanova Saule — Candidate of Chemical Sciences (PhD), Associate Professor, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nurzhanova.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>;

Medetkyzy Zere — Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Zere.medetkyzy@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9650-7382>;

Saidilda Galymzhan — PhD Doctoral Student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: galym711@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>;

Abilmagzhanov Arlan — Candidate of Chemical Sciences (PhD), General Director, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz., <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Abstract. The development of environmentally friendly, sustainable, and highly efficient catalytic technologies for the production of high-octane motor fuels remains an important challenge in the modern petrochemical industry. The design of advanced catalysts capable of deep conversion of heavy petroleum fractions and efficient transformation of normal alkanes is of particular scientific and industrial interest. The aim of this work was to synthesize multifunctional nanocatalysts based on mesoporous aluminosilicate zeolites modified with cerium oxide and to investigate their structural, physicochemical, and catalytic properties. The catalysts were prepared by the wet impregnation method using an aluminum hydroxide matrix as a support. The synthesized materials were characterized by BET surface area analysis, ammonia temperature-programmed desorption, X-ray diffraction, Fourier-transform infrared spectroscopy, and SEM-EDS analysis. The results demonstrated that cerium oxide formed highly dispersed nanoparticles with sizes of 3–5 nm uniformly distributed throughout the zeolite framework. Such distribution improved the accessibility of

active sites and enhanced catalytic performance. Catalytic tests were carried out during the conversion of n-tetradecane and n-pentadecane at temperatures ranging from 300 to 500 °C. Increasing the reaction temperature enhanced the conversion of n-tetradecane from 40.9% to 91.7% and n-pentadecane from 45.6% to 94.9%. The cerium-modified Y-type zeolite exhibited the highest specific surface area of 242.6 m²/g and the most developed porous structure among the studied samples. The catalysts demonstrated high selectivity toward the formation of branched iso-alkanes, light olefins, and high-octane gasoline fractions while suppressing coke formation. The obtained results confirm the potential of the developed nanocatalysts for deep petroleum refining processes and the production of environmentally friendly motor fuels that meet modern environmental standards.

Keywords: hydrocarbons, petroleum refining, zeolite catalyst, cerium oxide, catalytic selectivity, cracking, characterization methods

For citations: Omarova A.A., Nurzhanova S.B., Medetkyzy Z., Saidilda G.T., Abilmagzhanov A.Z. Production of high-octane gasoline by processing N-alkanes over a zeolite-containing catalyst. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.2. — P. 253-271. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.376>

© Омарова А.А., Нуржанова С.Б., Медетқызы З., Сәйділдә Ғ.Т.,
Абильмагжанов А.З., 2026.

Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru

ЦЕОЛИТҚҰРАМДЫ КАТАЛИЗАТОРДА Қ-АЛКАНДАРДЫ ӨНДЕП ЖОҒАРЫ САПАЛЫ БЕНЗИН АЛУ

Омарова Айжан — к.х.н., қауымдастырылған профессор, Эль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1399-103X> ;

Нуржанова Сауле — к.х.н., қауымдастырылған профессор, Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты, Қазақстан, Алматы, Кунаева, 142

E-mail: nurzhanova.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>;

Медетқызы Зере — Эль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Zere.medetkyzy@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9650-7382>;

Сәйділдә Ғалымжан — докторант, Эль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: galym711@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>;

Абильмагжанов Арлан — к.х.н., Бас директор Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Аннотация. Мұнай-химия өнеркәсібінде жоғары октанды мотор отындарын өндіруге арналған экологиялық қауіпсіз, тұрақты және жоғары тиімді каталитикалық технологияларды әзірлеу маңызды ғылыми және өндірістік

міндеттердің бірі болып табылады. Қалыпты алкандарды тиімді түрлендіруге және ауыр мұнай фракцияларын терең өңдеуге қабілетті жаңа катализаторларды жасау ерекше өзектілікке ие. Осы жұмыстың мақсаты церий оксидімен модификацияланған мезокеуекті алюмосиликатты цеолиттер негізіндегі көпфункционалды нанокатализаторларды синтездеу және олардың құрылымдық, физика-химиялық және каталитикалық қасиеттерін зерттеу болып табылады. Катализаторлар алюминий гидроксиді матрицасы негізінде сіңдіру әдісі арқылы дайындалды. Алынған материалдардың қасиеттері BET әдісімен, аммиактың температуралық бағдарламаланған десорбциясы, рентгендік фазалық талдау, инфрақызыл спектроскопия және SEM-EDS әдістері арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері церий оксидінің цеолит құрылымында жоғары дисперсті күйде орналасып, өлшемдері 3–5 нм болатын нанобөлшектер түзетінін көрсетті. Бұл олардың белсенді орталықтарының қолжетімділігін арттырып, каталитикалық қасиеттерінің жақсаруына ықпал етті. Каталитикалық сынақтар п-тетрадекан мен п-пентадеканды өңдеу кезінде 300–500°C температура аралығында жүргізілді. Температура жоғарылаған сайын п-тетрадеканның конверсиясы 40,9%-дан 91,7%-ға дейін, ал п-пентадеканның конверсиясы 45,6%-дан 94,9%-ға дейін артты. Цериймен модификацияланған Y типті цеолиттің меншікті бет ауданы 242,6 м²/г құрап, ең жоғары көрсеткішке ие болды. Катализаторлар изоалкандардың, жеңіл олефиндердің және жоғары октанды бензин фракцияларының түзілуіне жоғары селективтілік көрсетіп, кокстің түзілуін төмендетті. Алынған нәтижелер әзірленген нанокатализаторлардың мұнайды терең өңдеу тиімділігін арттыруға және экологиялық талаптарға сай мотор отындарын өндіруге мүмкіндік беретінін көрсетті.

Түйін сөздер: көмірсутектер, мұнай өңдеу, цеолит катализаторы, церий оксиді, каталитикалық селективтілік, крекинг, зерттеу әдістері

Қаржыландыру: бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан нысаналы қаржыландыру бағдарламасы аясында қаржылық қолдау арқылы орындалды (жоба № BR24992995 — «Мұнай-газды өңдеу және органикалық синтез процестеріне арналған өтпелі және сирекжер металдар негізіндегі жаңа композиттік каталитикалық жүйелердің қасиеттерін болжаудың ғылыми негіздерін қалыптастыру»).

© Омарова А.А.^{1*}, Нуржанова С.Б.², Медеткызы З.¹, Сайдилда Г.Т.¹,
Абильмагжанов А.З.², 2026.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского,
Алматы, Казахстан.

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКООКТАНОВОГО БЕНЗИНА ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ n-АЛКАНОВ НА ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Омарова Айжан — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: aizhan.omarova.79@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1399-103X>;

Нуржанова Сауле — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: nurzhanova.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3670-4010>;

Медеткызы Зере — Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: Zere.medetkyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9650-7382>;

Сайдилда Галымжан — докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: galym711@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7468-7421>;

Абильмагжанов Арлан — кандидат химических наук, генеральный директор Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.abilmagzhanov@ifce.kz., <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Аннотация. Разработка экологически безопасных, устойчивых и высокоэффективных каталитических технологий получения высокооктановых моторных топлив является одной из актуальных задач современной нефтехимической промышленности. Особый интерес представляет создание новых катализаторов, обеспечивающих глубокую переработку тяжёлых нефтяных фракций и эффективное превращение нормальных алканов. Целью работы является синтез многофункциональных нанокатализаторов на основе мезопористых алюмосиликатных цеолитов, модифицированных оксидом церия, а также исследование их структурных, физико-химических и каталитических свойств. Катализаторы получены методом пропитки с использованием матрицы гидроксида алюминия. Свойства синтезированных материалов изучены методами низкотемпературной адсорбции азота (BET), температурно-программируемой десорбции аммиака, рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии и SEM-EDS. Установлено, что оксид церия формирует высокодисперсные наночастицы размером 3–5 нм, равномерно распределённые в структуре цеолита. Такое распределение способствует увеличению доступности активных центров и улучшению каталитических характеристик. Каталитические испытания проводились при переработке n-тетрадекана и n-пентадекана в интервале температур 300–500 °С. Повышение температуры приводило к увеличению

степени конверсии н-тетрадекана с 40,9 до 91,7 %, а н-пентадекана - с 45,6 до 94,9 %. Наиболее развитой пористой структурой и максимальной удельной поверхностью 242,6 м²/г характеризовался цеолит типа Y, модифицированный оксидом церия. Исследуемые катализаторы продемонстрировали высокую селективность к образованию изоалканов, лёгких олефинов и высокооктановых бензиновых фракций при одновременном снижении коксообразования. Полученные результаты подтверждают перспективность разработанных нанокатализаторов для процессов глубокой переработки нефти и производства экологически безопасных моторных топлив.

Ключевые слова: углеводороды, нефтепереработка, цеолитный катализатор, оксид церия, каталитическая селективность, крекинг, н-алканы, высокооктановый бензин

Кіріспе. Қазіргі замғғы жаһандық және отандық мұнай өңдеу мен мұнай-химия өнеркәсібінің алдында тұрған ең басты стратегиялық әрі технологиялық міндеттердің бірі - өндірістің экономикалық тиімділігін максималды деңгейге арттырумен қатар, қоршаған ортаны қорғау, экологиялық қауіпсіздікті сақтау және орнықты дамудың қатаң халықаралық стандарттарын бұлжытпай қамтамасыз ету болып табылады. Жиырма бірінші ғасырда каталитикалық крекинг және каталитикалық изомерлеу процестері жоғары октанды мотор отындарын, авиациялық жанармай компоненттерін және бағалы төменгі молекулалы химиялық шикізаттарды (жеңіл олефиндер мен ароматты көмірсутектерді) өндірудің негізгі іргелі технологиялық платформасы ретінде танылады (Kolesnikov, 2020; Batova and Lipin, 2021). Осыған қарамастан, қазіргі таңда мұнай өңдеу зауыттарында қолданылып жүрген дәстүрлі өндірістік катализаторлар ауыр мұнай фракциялары мен ұзын тізбекті қалыпты алкандарды өңдеу барысында бірқатар маңызды технологиялық және кинетикалық шектеулерге тап болуда. Олардың басты кемшіліктеріне катализатор бетінің тез кокспен басылуы, термиялық тұрақсыздығы және қоршаған ортаға техногендік жүктемені арттыратын, сондай-ақ көміртегі қалдықтары мен улы газдардың шамадан тыс бөлінуіне әкелетін төмен селективтілігі жатады.

Осы орайда, атмосфераға тасталатын зиянды парниктік газдардың, күкіртті және азотты қосылыстардың мөлшерін барынша азайтуға, сонымен қатар каталитикалық процестің бағытын тек мақсатты өнімдер түзілуіне қарай реттеуге мүмкіндік беретін, жоғары белсенділігімен және таңдамалылығымен ерекшеленетін жаңа буын нанокатализаторларын жасау - қазіргі химия ғылымы мен катализ теориясының ең өзекті, басым бағыттарының біріне айналып отыр. Мұндай инновациялық наноқұрылымды жүйелерді өндіріске енгізу мұнай шикізатын терең өңдеу көрсеткіштерін айтарлықтай жақсартып қана қоймай, алынатын бензин мен дизель отындарының сапалық сипаттамаларын халықаралық экологиялық стандарттар деңгейіне дейін көтеруге, отынның жану тиімділігін арттыруға және қозғалтқыштардан бөлінетін улы қалдықтарды азайтуға тікелей жол ашады.

Әдеби шолу. Осы тұрғыдан алғанда, қазіргі каталитикалық жүйелердің белсенді қатты негізі немесе тасымалдаушы матрицасы ролінде кеңінен қолданылатын мезопорлы алюмосиликатты цеолиттер, атап айтқанда, иерархиялық құрылымды цеолиттер мен олардың әртүрлі модификацияланған түрлері өздерінің бірегей физика-химиялық қасиеттеріне байланысты әлемдік ғылыми ортада ерекше қызығушылық тудыруда (Garcia and Lopez, 2022; Hernandez and Martinez, 2022). Бұл материалдар кристалдық алюмосиликаттар класына жатады және қатаң реттелген микрокеуекті, мезокеуекті және макрокеуекті каналдардың дамыған кеңістіктік иерархиялық жүйесіне ие болуымен сипатталады. Мұндай күрделі геометриялық сәулет катализатордың меншікті беттік ауданын жүздеген квадрат метрге дейін ұлғайтуға мүмкіндік береді (Hernandez and Martinez, 2022). Осының нәтижесінде реакцияға түсетін ірі өлшемді ауыр көмірсутек молекулаларының катализатордың ішкі порларында орналасқан белсенді орталықтарға кедергісіз, жылдам диффузиялануы қамтамасыз етіледі. Бұл құбылыс материалдың ішкі кеңістігіндегі масса алмасу және жылу алмасу процестерін жеделдетіп, катализатордың қызмет ету мерзімін ұзартады. Осы орайда, ашық порлы құрылымға ие бұл цеолиттер декан, тетрадекан және пентадекан сияқты ұзын тізбекті парафинді көмірсутектердің каталитикалық түрленуі, олардың молекулалық қаңқасының деструкциясы (крекинг) және изомерленуі үшін жоғары тиімді таңдамалы нанокатализаторлық негіз ретінде қолданылуға толық ғылыми негіз болады.

Цеолиттік матрицалардың каталитикалық белсенділігі мен пішіндік (стереохимиялық) селективтілігі тек олардың геометриялық кеуектерінің өлшемдерімен ғана емес, сонымен қатар қатты алюмосиликатты қышқылдардың табиғатына тән беттік қышқылдық-негіздік қасиеттерімен де тікелей анықталады. Бұл катализаторлардың кристалдық қаңқасының бетінде және оның ішкі каналдарында Бренстед және Льюис типті қышқылдық орталықтардың өте күрделі және әртүрлі энергетикалық жиынтығы қалыптасады (Singh and Patel, 2023; Karimov and Sadykov, 2023). Алайда, каталитикалық процестің кинетикалық заңдылықтарына сәйкес, бұл белсенді орталықтардың барлығы бірдей реакцияға қатыса бермейді; олардың тек белгілі бір аз ғана бөлігі нақты крекинг, изомерлену немесе алкилдену реакцияларын қоздыруға қабілетті келеді. Осыған байланысты, цеолит катализаторларының қышқылдық қасиеттерін, олардың белсенді орталықтарының табиғатын, күшін, шоғырлануын және таралу топографиясын заманауи физика-химиялық әдістермен терең зерттеу процестің ішкі механизмін нақтылау үшін ғылыми тұрғыдан аса маңызды міндет болып табылады.

Бүгінгі таңда жоғары кремнийлі цеолиттердің каталитикалық әсерінің тиімділігін арттырудың ең перспективалы және нәтижелі тәсілдерінің бірі - олардың кристалдық қаңқасының құрылымын әртүрлі өтпелі немесе сирек жер металдарымен және олардың оксидтік фазаларымен мақсатты түрде модификациялау (түрлендіру) болып табылады (Liu and Zhang, 2021; Wang and Kim, 2023). Түрлендірілген цеолиттік жүйелер катализатордың термиялық, химиялық және гидротермальды төзімділігін айтарлықтай арттырады (Wang

and Kim, 2023; Zhao et al., 2024). Сонымен қатар, металл иондары цеолит бетіндегі қышқылдық орталықтардың күшін қайта бөліп, реакцияның активтену энергиясын төмендетеді, процесс жылдамдығын тездетеді және ең бастысы - қажетсіз жанама реакциялардың (мысалы, терең деструкция, газ түзілу немесе қарқынды кокс түзілу) жүруін барынша шектейді (Liu and Zhang, 2021; Zhou and Wang, 2022).

Мұнай өңдеу өнеркәсібінде құрамында металлы бар, модификацияланған бифункционалды және композиттік цеолит катализаторларын қолдану ауыр парафинді шикізаттарды анағұрлым төменірек температуралық режимдерде тиімді өңдеуге және зауыттық өндірістің жалпы энергия шығындарын айтарлықтай төмендетуге жағдай жасайды. Нанометрлік өлшемдегі өтпелі немесе сирек жер металдарының коллоидты немесе кластерлік бөлшектерін цеолиттің кеуекті құрылымына енгізу нәтижесінде, массивті металдардың қасиеттерінен мүлдем ерекшеленетін бірегей кванттық-өлшемдік және электрондық сипаттамаларға ие белсенді фазалар қалыптасады. Мұндай нанобөлшектердің жоғары құрылымдық тұрақтылығымен жоғары дисперстілігі катализатор бетінде жаңа координациялық қанықпаған байланыстардың пайда болуына және соның есебінен дегидрлену-гидрлену және қышқылдық крекинг реакцияларының бір мезгілде үйлесімді жүруіне (бифункционалды катализ) мүмкіндік береді. Сондықтан, бұл бағытта ұсынылып отырған зерттеулер көмірсутек шикізаты негізінде жоғары қосылған құны бар мұнай-химия өнімдерін алудың жоғары тиімді әрі экологиялық таза инновациялық технологиялық негіздерін қалыптастыруға тікелей бағытталған.

Қазақстанның қазіргі заманғы даму кезеңінде және индустриалды-инновациялық экономиканы қалыптастыру жағдайында нанокатализ және наноматериалдар химиясы саласындағы іргелі және қолданбалы зерттеулер ұлттық мұнай-газ және мұнай-химия кешенін технологиялық тұрғыдан терең жаңартудың мемлекеттік стратегиялық басымдықтарымен тығыз байланысты. Еліміздің көмірсутек ресурстарының ауқымды табиғи қорын, аймақтық геосаяси жағдайын және логистикалық әлеуетін тиімді әрі ұтымды пайдалану үшін шикізаттық бағыттан жоғары технологиялық, дайын өнімдер өндіруге көшу — уақыт талабы және стратегиялық маңызды қадам болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда, отандық жетекші ғылыми орталықтар мен университеттерде жаңа наноматериалдарды синтездеу, олардың кеуекті архитектурасын молекулалық деңгейде басқару, функционалдық модификациялау тәсілдерін енгізу және олардың каталитикалық қасиеттерін заманауи физика-химиялық әдістер кешенімен бағалау бойынша жүйелі де ауқымды жұмыстар қарқынды жүргізіліп келеді.

Жаңа буын цеолиттік нанокатализаторларын жасау мұнай өңдеу, газхимия және синтетикалық баламалы отын өндірісіндегі каталитикалық крекинг, гидроотазалау, риформинг және изомерлену сияқты ең маңызды өндірістік процестердің тиімділігін мүлдем жаңа сапалық деңгейге көтеруге мүмкіндік береді. Цеолиттердің айрықша артықшылығы — олардың молекулалық деңгейде таңдамалы әсер ету қабілетінде, бұл мақсатты өнімдердің шығымын

барынша арттырып, жанама реакцияларды шектейді. Бұл материалдардың жоғары термиялық және химиялық төзімділігі оларды өнеркәсіптік агрессивті жағдайларда, жоғары қысым мен температурада ұзақ мерзімді пайдалануға толық жағдай жасайды.

Соңғы жылдары микро- және мезокеуекті құрылымдарды өзара үйлестіретін композиттік жүйелерді алу, сондай-ақ белсенді орталықтардың табиғатын сирек жер металдарымен байыту катализ саласындағы ең перспективті бағыт ретінде қалыптасты. Қорыта айтқанда, бұл бағыттағы ғылыми ізденістер мен тәжірибелік зерттеулер табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға, өндірістік шығындарды барынша оңтайландыруға және қоршаған ортаға түсетін техногендік жүктемені азайта отырып, Қазақстан Республикасының экономикалық тәуелсіздігін, технологиялық қауіпсіздігін және халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға тікелей және стратегиялық тұрғыдан ықпал етеді. Осыған байланысты цеолитті нанокатализаторлар қатысында декан, тетрадекан және пентадеканның каталитикалық айналу заңдылықтары мен ерекшеліктерін анықтау жаңа катализаторлық жүйелерді әзірлеу мен мұнай-химия технологияларын заманауи бағытта жаңғырту тұрғысынан жоғары ғылыми-тәжірибелік мәнге ие.

Эксперименттік бөлім. Зерттеу жұмысында катализатор ретінде мезопорлы алюмосиликатты HZSM және HY типті цеолиттер пайдаланылды. Катализатор үлгілері алюминий гидроксиді $\text{Al}(\text{OH})_3$ негізінде модификациялаушы элементтердің тұздарының сулы ерітінділерімен сіңдіру әдісі арқылы дайындалды. Алынған катализаторлардың каталитикалық белсенділігі C_{14} – C_{15} көмірсутектерін өңдеу процесінде зерттелді. Тәжірибелер инертті ортада (аргон атмосферасында) ағынды реактор қондырғысында жүргізілді. Процесс параметрлері ретінде температура 300–500°C аралығы, қысым 0,1 МПа және шикізатты беру жылдамдығы $1,5 \text{ сағ}^{-1}$ шамалары таңдап алынды. Өнімдердің құрамы мен көмірсутектердің таралуын талдау «Хромотэк-Кристалл» маркалы газды хроматографта орындалды. Бөлу колонкасы ретінде ұзындығы 3,5 м болатын, фторланған Al_2O_3 адсорбентімен толтырылған «Supelco» фирмасының капиллярлы сымы қолданылды. Аталған колонка парафинді, изопарафинді, ароматты және нафтенді көмірсутектерді тиімді ажыратуға мүмкіндік береді. Талдау барысында жалынды-ионизациялық детектор пайдаланылып, тасымалдаушы газ ретінде аргон қолданылды. Хроматографиялық өлшеулерде температуралық бағдарлама газды фаза үшін 60–130°C, ал сұйық фаза үшін 130–288°C аралығында жүргізілді. Құрылғыны калибрлеу мақсатында таза эталонды заттар бойынша абсолютті калибрлеу әдісі қолданылды. Стандартты үлгілер микрошприц көмегімен бірдей көлемде енгізіліп, салыстырмалы талдау жүргізілді.

Нәтижелерді талқылау. Модифицирленген цеолитқұрамды катализаторларының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Зерттелетін катализатордың белсенділігін, құрылымы мен қасиеттерін сипаттау үшін әртүрлі физика-химиялық әдістер қолданылды. Синтезделген катализаторлардың меншікті бетінің ауданы мен кеуектілігі БЭТ әдісімен өлшенді.

Кесте 1 — Синтезделген катализаторлардың бетінің және кеуекті құрылымының сипаттамасы

Катализатор құрамы	$S_{\text{бет}} (\text{м}^2/\text{г})$
Үлгі 1 (ZSM-5 + Al_2O_3)	209.3
Үлгі 2 (Ce_2O_3 + ZSM-5 + Al_2O_3)	191.4
Үлгі (Ce_2O_3 + Ce_2O_3 + HY + Al_2O_3)	242.6

1-кестеде берілген деректерге сәйкес, зерттелген катализатор үлгілерінің арасында цериймен модификацияланған HY цеолиті ең жоғары меншікті бет ауданына ие болып, оның мәні $242,6 \text{ м}^2/\text{г}$ құрайтыны анықталды. Ал ZSM-5 цеолитін церий иондарымен модификациялау нәтижесінде материалдың меншікті бет ауданының $191,4 \text{ м}^2/\text{г}$ дейін едәуір төмендейтіні байқалды. Каталитикалық үдерістер барысында белсенді орталықтардың әртүрлі типтерінің қызметі көбіне бір-бірінен тәуелсіз қарастырылады және олардың әрекеттесуші молекулаларға бірлескен ықпалы толық ескерілмейді. Алайда каталитикалық жүйеде бірнеше функционалдық орталықтардың қатар болуы олардың өзара әрекеттесу мүмкіндігін арттырып, катализатордың полифункционалды қасиеттерін қалыптастыруы ықтимал деп пайымдауға болады.

Тәжірибелік зерттеулерде өлшеу нәтижелерінің нақтылығын арттыру мақсатында термиялық әсерлерді ескеру, сондай-ақ кеуекті құрылымдағы динамикалық өзгерістерді модельдеу тәсілдері қолданылды. Аталған әдістемелік тәсілдерді негізге ала отырып, жүргізілген зерттеу жұмысы өлшеу қателіктерін барынша азайтуға және алынған нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз етуге бағытталды.

Катализаторлардың қышқылдық-негіздік сипаттамаларын анықтау үшін аммиакты температуралық бағдарламаланған десорбция әдісі қолданылды (2-кесте). Катализаторлар бетіндегі аммиак адсорбциясы екі түрде жүреді. Қышқылдық орталықтардың құрамына цеолит қуыстарының ішінде де, олардың сыртқы жағында да бекітілген әртүрлі тотығу дәрежесіндегі металдар кіруі мүмкін.

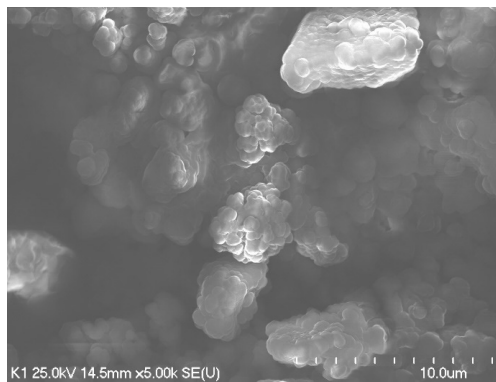
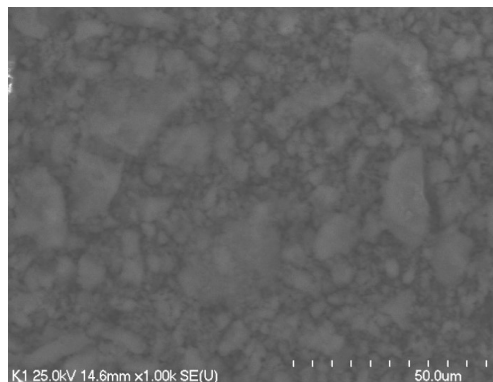
Кесте 2 — Үлгі 1-3 катализаторларының аммиактың температуралық бағдарламаланған десорбциясы нәтижелері ($\mu\text{mol g}^{-1}$)

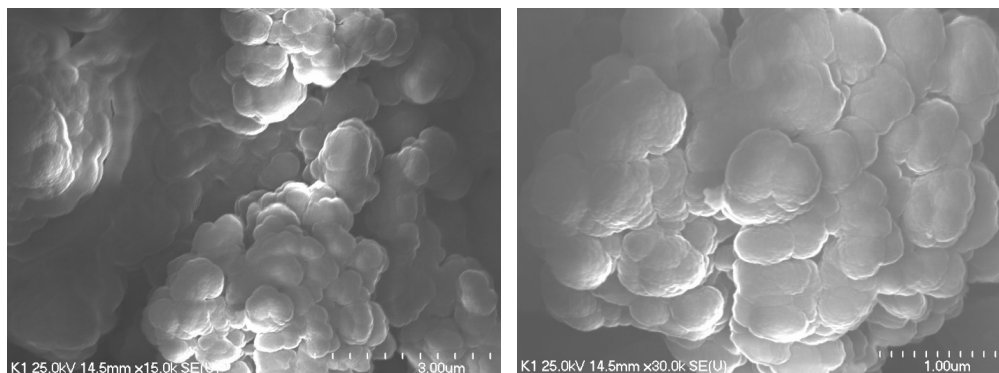
Үлгі	Десорбцияланған аммиак мөлшері, NH_3 десорбция/г катализатор ($\mu\text{mol g}^{-1}$)			
	Төмен 100-300 °C	Орташа 300-450 °C	Жоғары 450+ °C	Барлығы
Үлгі 1 (ZSM-5 + Al_2O_3)	557.7	333.5	157.9	1049.1
Үлгі 2 (Ce_2O_3 + ZSM-5 + Al_2O_3)	587.7	269.0	157.9	1014.6
Үлгі 3 (Ce_2O_3 + HY + Al_2O_3)	3015.7	2048.0	729.7	5793.4

ZSM-5 + Al_2O_3 (Үлгі 1) және Ce_2O_3 + ZSM-5 + Al_2O_3 (Үлгі 2) катализаторларының беттерінде десорбцияланған аммиак мөлшері бір-біріне жақын болды. Төмен температура диапазонында (Тдесорбция = 100–300 °C) қышқылдық орталықтар басым болып, олардың катализатордағы концентрациясы сәйкесінше $557,5 \text{ мкмоль/г}$ және $587,7 \text{ мкмоль/г}$ құрады. Орташа температура диапазонында (Тдесорбция = 300–450 °C) аммиак мөлшері Үлгі 1-де $333,5 \text{ мкмоль/г}$, Үлгі 2-де $269,0 \text{ мкмоль/г}$ деңгейінде болды. Жоғары температурада (Тдесорбция > 450 °C)

қышқылдық орталықтардың ең төменгі мөлшері екі катализаторда да 157,9 мкмоль/г болды. Нәтижесінде, аммиактың жалпы десорбцияланған мөлшері Үлгі 1-де 1049,1 мкмоль/г, Үлгі 2-де 1014,6 мкмоль/г деңгейінде тіркелді. Ең жоғары аммиак десорбциясы $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{HY} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (Үлгі 3) катализаторында байқалды. Төмен температурада ($T_{\text{десорбция}} = 100\text{--}300^\circ\text{C}$) аммиактың мөлшері 3015,7 мкмоль/г, ал орташа температурада ($T_{\text{десорбция}} = 300\text{--}450^\circ\text{C}$) 2048,0 мкмоль/г құрады. Жоғары температурада ($T_{\text{десорбция}} > 450^\circ\text{C}$) қышқылдық орталықтардың ең төменгі мөлшері 729,7 мкмоль/г болды. Үлгі 3 катализаторының бетінен алынған аммиактың жалпы көлемі 5793,4 мкмоль/г деп есептелді. Зерттеу нәтижелері үш түрлі катализатор үлгілерінің қышқылдық сипаттамаларын салыстырады. $\text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (Үлгі 1) және $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (Үлгі 2) катализаторлары төмен және орташа температураларда аммиакты десорбциялау көлемі ұқсас екенін көрсетеді, бұл олардың бетінде салыстырмалы түрде біркелкі қышқылдық орталықтардың орналасқанын білдіреді. Десорбцияланған аммиактың ең жоғары мөлшері $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{HY} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (Үлгі 3) катализаторында тіркелген, бұл модификацияланған HY цеолитінің жоғары қышқылдық белсенділігін және полифункционалдығын көрсетеді. Температураның жоғарылауы қышқылдық орталықтардың десорбциялық белсенділігінің төмендеуіне әкеліп, аммиак десорбциясының динамикалық өзгерісін көрсетеді. Бұл катализатор құрылымы мен модификациясының қышқылдық қасиеттерге тікелей әсер ететінін дәлелдейді.

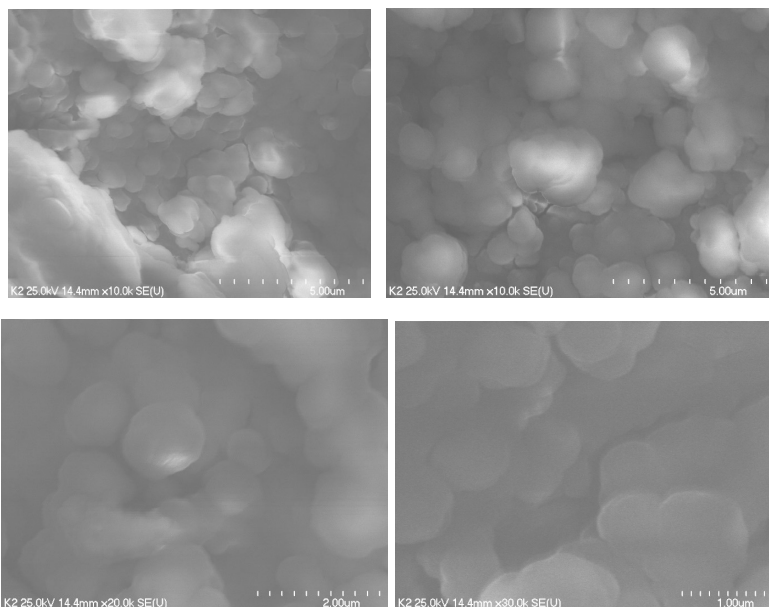
Синтезделген цеолитқұрамды наноөлшемді катализатор үлгілері трансмиссиялық және сканерлеуші электронды микроскопия әдістері арқылы зерттелді. SEM әдістерін (электрондық микроскопия және электрондық дифракция) қолдану нәтижесінде белсенді фазалық металдардың таралуы, дисперстілігі, бөлшектердің өлшемдері, сондай-ақ катализатор бетінің белсенді орталықтарының фазалық құрамы, құрылымы мен күйі анықталды. Модификацияланған цеолитқұрылымды жүйенің SEM кескіндері бастапқы цеолит үлгісімен салыстырғанда айқын айырмашылық көрсетеді. Бұл өзгерістер құрылымға церий (Ce) және фосфор (P) бөлшектерінің енгізілуі нәтижесінде жаңа белсенді орталықтардың түзілуімен түсіндіріледі.



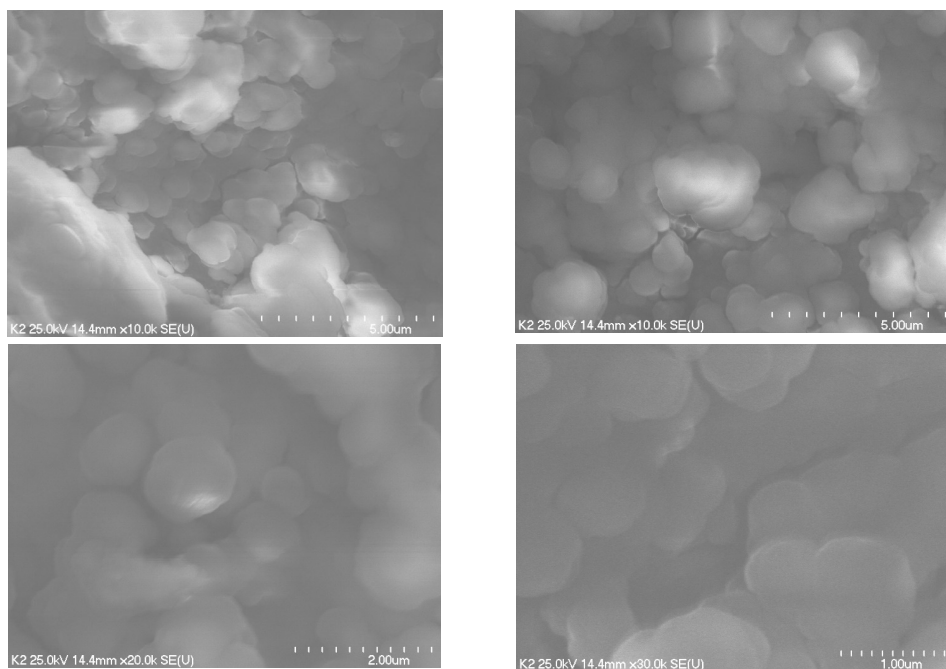


Сурет 1 — $\text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (үлгі-1) катализаторының SEM кескіндері

Модификацияланған цеолитқұрылымды жүйенің SEM кескіндері бастапқы цеолитпен салыстырғанда айтарлықтай өзгеше екені байқалады. Бұл өзгерістер құрылымға церий (Ce) бөлшектерінің енуі нәтижесінде жаңа белсенді орталықтардың түзілуімен түсіндіріледі. Электрондық микроскопия нәтижелері бойынша модификацияланбаған $\text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ катализаторының (1 сурет) бетінде өлшемі шамамен $d \approx 2,0\text{--}4,0$ нм болатын жоғары дисперсті құрылымдардың басым екені анықталған. 1-суретте цериймен модификацияланған наноөлшемді катализатор бетінің микродифракциялық сызбасы келтірілген. Сызба деректері бойынша катализатор құрылымында $d \approx 3,0\text{--}5,0$ нм аралығындағы Ce_2O_3 наноөлшемді бөлшектерінің біркелкі таралған жинақтары түзілгені көрсетіледі.



Сурет 2 — $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (үлгі-2) катализаторының SEM кескіндері



Сурет 3 — $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{MCM-41} + \text{Al}_2\text{O}_3$ (үлгі-3) катализаторының SEM кескіндері

Атомдық адсорбциялық спектроскопия талдауы Unicam Atomic Adsorption SOLAAR M6 спектрометрі көмегімен ацетилен/ауа жалынында, толқын ұзындығы 232,0 нм жағдайында жүргізілді. Үлгілер аналитикалық таразыда дәл өлшенді. Әрбір үлгіге 3 мл 65% азот қышқылы қосылып, 25 °С температурада BANDELIN ультрадыбыстық ваннасында 25 минут бойы бастапқы минералдандыру процесінен өткізілді. Одан кейін әр үлгіге қосымша 1 мл 65% азот қышқылы енгізіліп, олар Milestone UltraWave жабық типті микротолқынды жүйесінде толық минералдандырылды. Минералданған ерітінділер 100 мл өлшемді колбаларға ауыстырылып, көлемі ионсыздандырылған сумен белгіге дейін жеткізілді. Бақылау (бос) ерітінді де дәл осы процедура бойынша дайындалды.

Кесте 3 — Үлгі 1-үлгі 3 катализаторларының атомдық адсорбциялық спектроскопия нәтижелері

Үлгі	Элементтік композиция		
	Al (%)	Si (%)	Ce (mg L ⁻¹)
K1	4.38	19.00	—
K2	3.43	15.11	52.43
K3	2.50	13.33	93.11

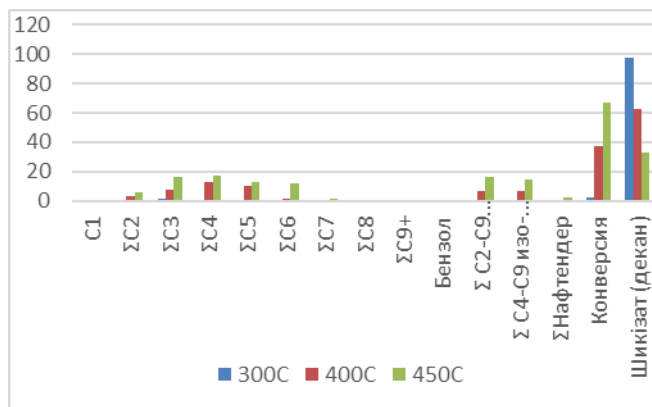
Модифицирленген цеолиті бар катализаторларда ауыр парафинді көмірсутектерді өңдеу. Модификацияланған цеолиті бар катализаторларда ауыр парафинді көмірсутектерді өңдеу мұнай өңдеу өнеркәсібіндегі өзекті бағыттардың бірі болып саналады. Мұнай өңдеу саласының алдында тұрған

негізгі міндеттердің бірі – жоғары сапалы мотор отындарын және мұнай-химиялық синтезге қажетті шикізатты алу мақсатында мұнайды терең өңдеу болып табылады. Бұл міндет әсіресе ауыр көмірсутекті шикізатты өңдеу кезінде, соның ішінде каталитикалық крекинг процесінде ерекше маңызға ие. Аталған процесте басқа өнімдермен қатар өнеркәсіптік органикалық және мұнай-химиялық синтез үшін маңызды болып табылатын олефинді көмірсутектер түзіледі. Қазіргі таңда көмірсутектерді конверсиялау реакцияларында жоғары кремнийлі цеолиттердің каталитикалық тиімділігін арттыру мақсатында оларды әртүрлі металдармен модификациялау бағытындағы зерттеулерге ерекше көңіл бөлінуде. Мұндай катализаторлар қышқылдық орталықтар жиынтығының болуымен сипатталады, алайда нақты реакция түріне сол орталықтардың тек белгілі бір бөлігі ғана қатысатыны анықталған. Осыған байланысты цеолит катализаторларының қышқылдық қасиеттерін зерттеу белсенді орталықтардың табиғатын ғылыми тұрғыдан нақтылауда маңызды рөл атқарады. Модификацияланған цеолиттерді қолдану катализатордың төзімділігін арттыруға, реакция жылдамдығын жоғарылатуға және селективтілікті күшейтуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Соның нәтижесінде мұндай катализаторлар мұнай өнеркәсібінде кеңінен қолданыс табады, себебі олар ауыр парафиндерді тиімді өңдеуге және энергия шығындарын азайтуға ықпал етеді. Цеолиттік жүйелер үшін каталитикалық белсенділік көбінесе меншікті бет ауданына, кеуек көлеміне, сондай-ақ микро-, мезо- және макрокеуектердің өзара қатынасына тәуелді болады. Цеолит қаңқасына металдарды енгізу беттік рельефтің күрделенуіне алып келеді, соның нәтижесінде жаңа дара белсенді орталықтар мен олардың кластерлері түзіледі. Катализаторларды дамытуда оларды дайындау әдісінің маңызы жоғары екені атап өтіледі, өйткені белсенді фазаның қалыптасуы негізінен синтездеу тәсіліне байланысты. Дайындау әдісі белсенді фазаның дисперсия дәрежесін, тасымалдаушы бетінде таралу сипатын және катализатор құрылымын анықтайды. Модификацияланған цеолиттерді қолдану нәтижесінде келесі негізгі артықшылықтарға қол жеткізілетіні көрсетілген: катализаторлық белсенділіктің жоғары болуы, селективтіліктің жақсаруы, өндірістік шығындардың азаюы және алынатын өнім сапасының артуы.

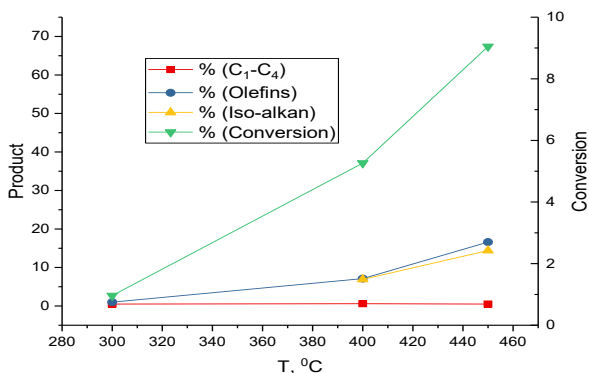


Сурет 4 — Ауыр алкандарды каталитикалық крекингпен өңдеу нәтижесінде түзілетін өнімдер

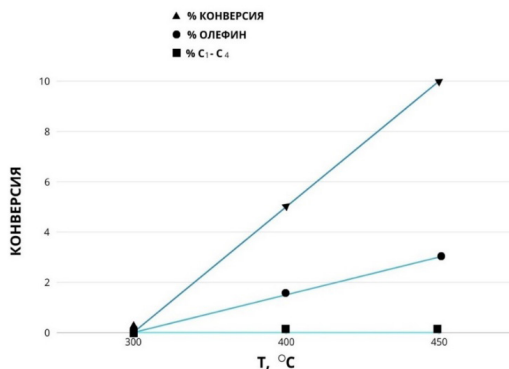
Құрамында цеолиті бар модификацияланған катализаторлардағы қ-деканның түрлену процестері зертханалық жағдайда жан-жақты зерттелген. Қ-деканның ZSM-5 + Al₂O₃ катализаторындағы түрленуі 300–450 °С температура аралығында жүргізілген (5-сурет). 5 –суретте келтірілген нәтижелер бойынша 300 °С температурада катализатордың айтарлықтай белсенділік көрсетпейтіні анықталған. Процесс температурасы 300-ден 450 °С-қа дейін артқан сайын н-деканның конверсия дәрежесі 2,7%-дан 67,4%-ға дейін өсетіні байқалады. 450 °С жағдайында қ-деканның түрленуі нәтижесінде газ фазасында келесі өнімдер түзілетіні көрсетілген: метан – 0,5%, ΣC_2 – 5,7%, ΣC_3 – 16,6%, ΣC_4 көмірсутектері – 17,1%. Ал сұйық фазада C₅–C₉ алкандар – 27,5% және ароматты көмірсутектер – 0,5% мөлшерінде анықталған. Температура жоғарылаған сайын түзілетін олефиндердің жалпы мөлшері 1,0%-дан 16,6%-ға дейін өсетіні, сондай-ақ изо-алкандардың үлесі іздік мөлшерден 14,4%-ға дейін артатыны байқалған. Бұл нәтижелер температураның өсуі катализдік крекинг пен изомерлену реакцияларының қарқындылығын күшейтетінін көрсетеді.



Сурет 5 — қ-Деканды ZSM-5 + Al₂O₃ катализаторы қатысында түрлендіру процесіне температураның әсері (p=0,1 МПа, V=1,5 сағ⁻¹)

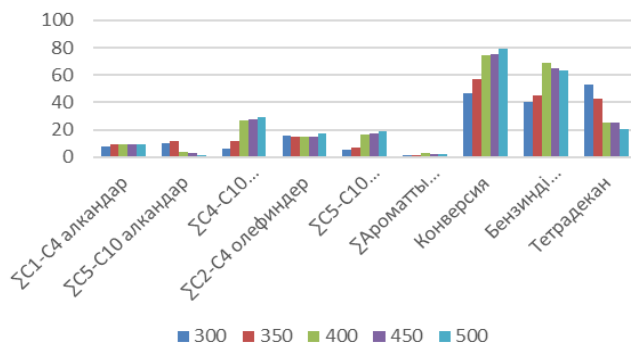


Сурет 6 — қ-Деканды ZSM-5 + Al₂O₃ катализаторы қатысында түрлендіру процесіне температураның әсері (p=0,1 МПа, V=1,5 сағ⁻¹)



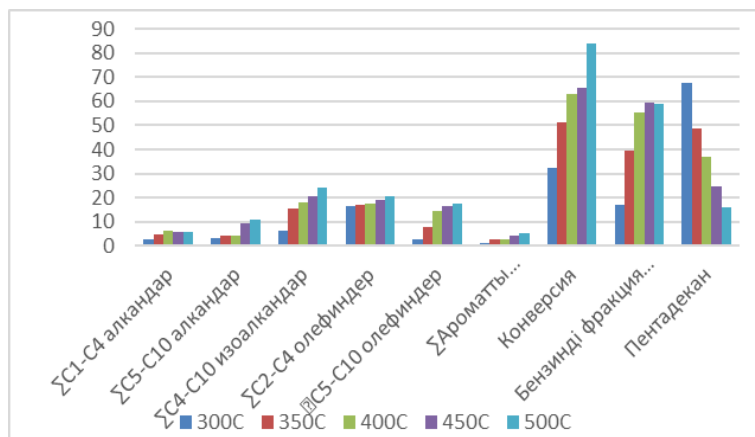
Сурет 7 — к-Деканды ZSM-5 + Al₂O₃ катализаторы қатысында түрлендіру процесіне температураның әсері (p=0,1 МПа, V=1,5 сар⁻¹)

Ce₂O₃ + ZSM-5 + Al₂O₃ катализаторы қатысында тетрадеканның түрлену процесін зерттеу нәтижелері көмірсутектердің конверсия дәрежесі мен түзілетін өнімдердің құрамы негізінен реакция температурасына тәуелді екенін көрсетеді. Зерттеу деректері бойынша температура 300–500 °C аралығында артқан сайын тетрадеканның конверсиясы 46,7%-дан 79,4%-ға дейін өсетіні анықталған. Осы жағдайларда C₄–C₁₀ изоалкандарының шығымы 6,3%-дан 29,4%-ға дейін, ал C₅–C₁₀ олефиндерінің шығымы 5,1%-дан 19,2%-ға дейін артатыны байқалған. Сонымен қатар катализатор қатысында түзілетін ароматты көмірсутектердің мөлшері 1,4–2,7% аралығына дейін жететіні көрсетілген (8-сурет). 8-суретте келтірілген мәліметтерге сәйкес, 300 °C температурада түзілетін жеңіл C₁–C₄ алкандарының мөлшері 7,6% құрайды. Температура 400 °C-қа дейін көтерілгенде бұл көрсеткіш 9,7%-ға дейін өседі, ал 500 °C-та іс жүзінде өзгеріссіз сақталатыны анықталған. Зерттелген барлық температуралық режимдерде мұнайдың бензиндік фракциясының негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын C₄–C₁₀ көмірсутектерінің түзілуі басым бағытта жүретіні байқалады. Бензин фракциясының шығымы 300 °C-та 40,0% болса, 400 °C-та 68,6%-ға дейін өседі, ал 500 °C-та 63,4%-ға дейін аздап төмендейтіні көрсетілген (8-сурет).



Сурет 8 — Тетрадеканның Ce₂O₃ + ZSM-5 + Al₂O₃-катализаторында өңделуі (p=0,1 МПа, V=1,5 сар⁻¹)

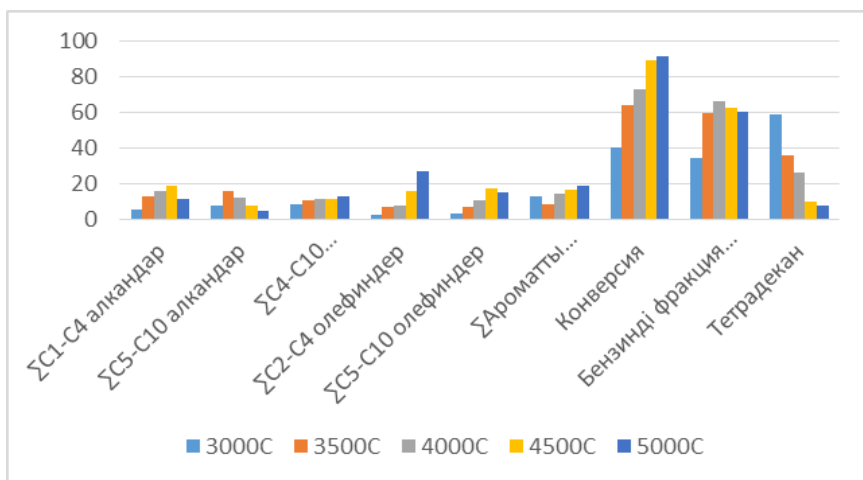
$\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ катализаторы қатысында пентадеканның крекинг және трансформация процестері зерттелген. Нәтижелер бойынша 300–500 °C температура аралығында пентадеканның айналу дәрежесі тетрадеканмен салыстырғанда жоғары болатыны және 32,4–84,0% шегінде өзгеретіні анықталған. Температура 300-ден 500 °C-қа дейін артқан кезде жеңіл C_2 – C_4 олефиндерінің жалпы мөлшері 16,5%-дан 20,7%-ға дейін өсетіні байқалған. Сонымен қатар C_5 – C_{10} олефиндерінің шығымы 2,7%-дан (300 °C) 17,7%-ға (500 °C) дейін ұлғайып, шамамен 6,5 есеге артатыны көрсетілген. Осы жағдайларда изомерлену және ароматтану процестерінің қарқындылығы да күшейетіні анықталған: изоалкандардың үлесі 6,0%-дан 24,3%-ға дейін, ал ароматты қосылыстардың мөлшері 1,3%-дан 5,2%-ға дейін өседі. Бензин фракциясының шығымы 300 °C-та 16,7% болса, 450 °C-та 59,4%-ға дейін артады, ал 500 °C-та 59,1%-ға дейін сәл төмендейтіні көрсетілген. Бұл нәтижелер температураның өсуі ауыр көмірсутектердің терең крекингі мен қайта құрылу реакцияларын күшейтетінін сипаттайды.



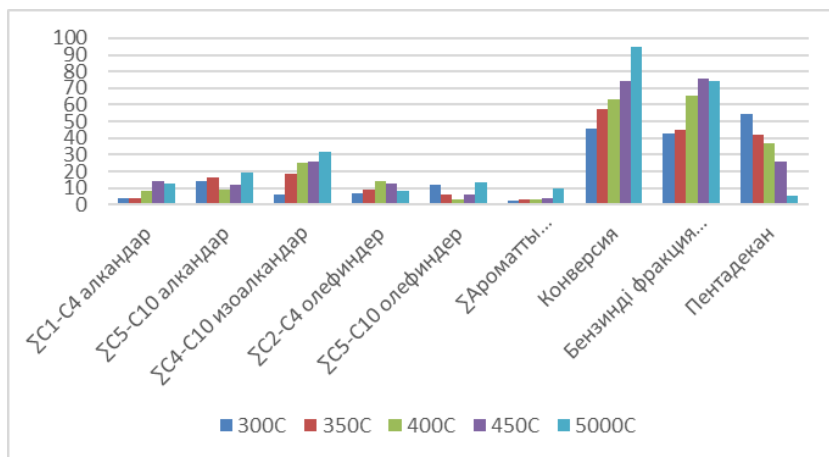
Сурет 9 — Пентадеканның $\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{ZSM-5} + \text{Al}_2\text{O}_3$ -катализаторында өңделуі ($p=0,1$ МПа, $V=1,5$ сағ-1)

$\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ катализаторы қатысында тетрадекан мен пентадеканның түрлену процестері зерттелген. Нәтижелер бойынша көмірсутектердің конверсия дәрежесі мен түзілетін өнімдердің құрамы негізінен реакция температурасына тәуелді екені анықталған. Температура 300–500 °C аралығында артқанда тетрадеканның конверсиясы 40,9–91,7%, ал пентадеканның конверсиясы 45,6–94,9% аралығына дейін өседі. Температура жоғарылаған сайын ароматты көмірсутектердің мөлшері де ұлғаяды: тетрадекан үшін 12,8–18,9%, пентадекан үшін 2,6–10,0%. Сонымен қатар изоалкандар үлесінің едәуір артатыны байқалған, әсіресе пентадекан түрленген кезде (6,0–31,9%). 300 °C-та тетрадекан крекингі кезінде C_4 – C_{10} изоалкандар қосындысы 8,4% болса, 500 °C-та 13,1%-ға дейін жетеді. 450 °C-та пентадекан конверсиясы 74,0% болғанда бензиндік фракциялардың ең жоғары шығымы — 75,7% алынған. Октан түзуші негізгі

компоненттер болып табылатын C_5 – C_{10} олефиндерінің шығымы C_{14} және C_{15} алкандарының крекингі кезінде тиісінше 3,6–17,6% және 12,0–13,3% аралығында өсетіні көрсетілген.



Сурет 10 — Тетрадеканның $Se_2O_3 + HY + Al_2O_3$ катализаторында өңделуі



Сурет 11 — Пентадеканның $Se_2O_3 + HY + Al_2O_3$ -катализаторында өңделуі
($p=0,1$ МПа, $V=1,5$ сар-1)

HZSM-5 және HY цеолиттері мұнай өңдеу саласында катализатор ретінде кеңінен қолданылатын материалдар болып саналады (Kim and Park, 2023; Tretyakov and Talyshinsky, 2022). HZSM-5 — микрокеуекті цеолит, оның кристалдық құрылымы ZSM-5 типті торымен сипатталады. Бұл материал мұнайды крекинктеу, изомерлеу сияқты реакцияларда жоғары каталитикалық белсенділік көрсетеді. $Se_2O_3 + ZSM-5 + Al_2O_3$ катализаторы қатысында 300–500 °C аралығында тетрадекан крекингі кезінде C_4 – C_{10} изоалкандардың мөлшері 6,3–29,4% аралығында болатыны анықталған.

НҮ цеолиттері де адсорбент және катализатор ретінде, сондай-ақ ионалмасу процестерінде тиімді қолданылады. Олар экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және экономикалық жағынан тиімді материалдар қатарына жатады. C_{14} – C_{15} қалыпты алкандарды түрлендіру барысында НҮ цеолиті бар катализаторлар жоғары белсенділік көрсететіні байқалған. $Ce_2O_3 + H_2 + Al_2O_3$ катализаторында температура 300–500 °C-қа дейін артқанда пентадекан конверсиясы 45,6–94,9% дейін өседі. Екі типті цеолит катализаторларында көмірсутектерді крекингтеу кезінде бірнеше реакция бір мезгілде қатар жүреді: крекинг, дегидрлеу, изомерлеу, дегидроциклдену және алкилдену. Бастапқы алкандардың крекингі мен дегидрленуі көміртек атомдары қысқарған және олефиндердің адсорбцияланған күйлері бар аралық белсендірілген кешендердің түзілуі арқылы жүзеге асады.

Жүргізілген зерттеу жұмыстары нәтижесінде қалыпты алкандарды (декан, тетрадекан, пентадекан) өңдеуге арналған құрамында HZSM және НҮ цеолиттері бар наноөлшемді көпфункционалды катализаторлар дайындалғаны көрсетілді. Синтезделген катализаторлардың белсенді орталықтарының табиғаты, күйі, құрылымы және қышқылдық қасиеттері заманауи физика-химиялық әдістер кешенімен анықталды. Атап айтқанда, аммиактың температуралық бағдарламаланған десорбциясы (NH_3 -TPD), БЭТ талдауы, сканерлеуші электронды микроскопия (SEM), атомдық адсорбциялық спектроскопия (AAS) және рентгендік дифракциялық талдау (XRD) әдістері қолданылды. Модификацияланған цеолитқұрамды көпфункционалды катализаторларда парафин көмірсутектерін өңдеу жоғары тиімділік көрсеткен (Omarova et al., 2025; Zhang and Liu, 2024). Түрлену процесі барысында дегидрлеу, изомерлеу, ароматтану және алкилдеу реакцияларының қатар жүретіні анықталған. Бұл катализаторлардың көпфункционалды қасиетін және реакциялық ортаның белсенділігін дәлелдейді. Көмірсутектерді сутексіз ортада цеолиті бар наноөлшемді көпфункционалды катализаторлар қатысында өңдеу нәтижесінде октан саны жоғары, экологиялық тұрғыдан салыстырмалы таза бензиндік фракциялар алынғаны көрсетілді. Бұл әзірленген катализаторлардың мұнай-химия және отын өндірісі саласында қолдануға перспективалы екенін айқындайды.

References

- Batova G.A., and Lipin P.V. (2021) Modified zeolite catalysts for isomerization and cracking of hydrocarbon feedstocks. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 94(3). — P. 312–320. (in Eng.)
- García M., and López D. (2022) Hierarchical zeolites in catalytic upgrading of heavy oil fractions. *Catalysis Today*, 397–399. — P. 85–96. (in Eng.)
- Hernández A., and Martínez J. (2022) Mesoporous ZSM-5 for enhanced catalytic performance in bio-oil upgrading. *Microporous and Mesoporous Materials*, 341. — 112098 p. (in Eng.)
- Karimov R.B., and Sadykov T.S. (2023) Influence of rare-earth elements on the acidity and catalytic properties of Y-type zeolites. *Catalysis in Industry*, 23(2). — P. 45–53. (in Eng.)
- Kim S., and Park J. (2023) USY and HZSM-5 zeolites in catalytic cracking of vegetable oils. *Chemical Engineering Journal*, 468. — 143612 p. (in Eng.)
- Kolesnikov I.M. (2020) *Catalysis and production of high-octane gasolines*. Nedra. (in Eng.)
- Liu Y., and Zhang X. (2021) Effect of Ce oxide modification on the acidity and cracking activity of HZSM-5. *Journal of Catalysis*, 395. — P. 122–134. (in Eng.)
- Oliveira L., and Costa M. (2025) Catalytic conversion of algal oil over modified HZSM-5 catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 179. — 106415 p. (in Eng.)

Omarova A.A., Nurzhanova S.B., and Medetkyzy Z. (2025) Catalytic activity of zeolite-containing catalysts in the processing of petroleum fractions. *Chemical Journal of Kazakh National University*, 118(2). — P. 54–62. (in Eng.)

Singh R., and Patel A. (2023) Influence of acidity and pore structure of ZSM-5 on catalytic cracking performance. *Reaction Chemistry and Engineering*, 8(4). — P. 1021–1032. (in Eng.)

Tretyakov V.F., and Talyshinsky R.M. (2022) Transformations of aliphatic hydrocarbons on nanosized HZSM-5 zeolites. *Petroleum Chemistry*, 62(4). — P. 485–496. (in Eng.)

Wang L., and Kim J. (2023) Synthesis of cerium-modified Y zeolites and their application in hydrocarbon conversion. *Applied Catalysis A: General*, 657. — 119012 p. (in Eng.)

Zhang Q., and Liu H. (2024) Metal-promoted zeolite catalysts for hydroprocessing of long-chain hydrocarbons. *Energy and Fuels*, 38(6). — P. 4567–4578. (in Eng.)

Zhao L., Sun Q., and Li Y. (2024) Rare-earth modified HZSM-5 for deoxygenation of bio-derived feedstocks. *Renewable Energy*, 220. — 119845 p. (in Eng.)

Zhou K., and Wang Y. (2022) Deactivation and regeneration of modified zeolite catalysts during alkane cracking. *Fuel Processing Technology*, 235. — 107380 p. (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: June 30, 2026

Format: 70×90 1/16. 24.0 printed sheets. Order No. 2