

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2025 • 1



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Бас редактор:

ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакция ұжымы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

ОЛИВЬЕРО Росси Сезаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фарабиатындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

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

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **31.01.2025 ж.** берген № **KZ31VPY0011215** Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>
БОШКАЕВ Қуантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

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

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

ТАКИБАЕВ Нургали Жабгаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство №KZ31VPY0011215 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **31.01.2025**

Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Editorial Board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (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 No. KZ31VPY00111215 issued 31. 01. 2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2025

**A.T. Massenova*, A.S. Zhumakanova, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova,
A.Z. Abilmagzhanov, 2025.**

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

E-mail: almasenova@mail.ru

HIERARCHICAL ZEOLITES BASED ON SYNTHETIC ZEOLITES ZSM-5, HY AND BEA FOR ALKYLATION OF AROMATIC HYDROCARBONS

Massenova Alma Tulegenovna – Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Organic Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: almasenova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2251-0549>;

Zhumakanova Ardak Sydykovna – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Organic Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: zhumakanova62@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4983-4199>;

Torlopov Ivan Igorevich – Junior Researcher, Sector of Design of Technological Processes, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: myndfrea@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Rakhmetova Kenzhegul Saginbayevna – Researcher, Sector of Modeling of Technological Processes, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Abilmagzhanov Arlan Zainutallaevich – Candidate of Chemical Sciences, First Deputy General Director, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: a.abilmagzhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Abstract. Alkylation of aromatic hydrocarbons is a basic large-scale petrochemical process for the production of styrene-based polymers (polystyrene, styrene-butadiene rubber, polystyrene foam, etc.), with global demand for these products increasing annually. Currently, the old technology of alkylation of benzene with ethylene in the presence of $AlCl_3$ is used, replacement of which is relevant not only for Kazakhstan, but for whole world. The replacement of these catalysts with effective solid acid zeolites, which can be synthesized with specified controlled properties (size and shape of pores and channels, dispersion, etc.) for synthesis of chemical compounds with certain structures, is necessary, potentially opening up enormous prospects for selective production of necessary products, especially for petrochemical processes. However, zeolites have limitations associated with size and shape of channels of regular framework structure of zeolites, determined by mass transfer (diffusion inhibition and configurational effect) and direction of chemical transformations (size and shape selectivity) in the pores.

These limitations can be removed by the use of hierarchical zeolites, characterized by the presence of both micropores and mesopores, i.e. different porous structures within one material. There are various methods of the synthesis of hierarchical zeolites, such as bitemplate synthesis, silanization, delamination, pillarization, etc. Among them, recrystallization of synthetic zeolites using surfactants is attractive, which consists of two-stage hydrothermal treatment of zeolite in the presence of alkali and surfactants with intermediate correction of pH of reaction mixture. This paper presents the results of studies on recrystallization of three types of synthetic zeolites – Y, BEA and ZSM-5 using polyethyleneglycol-10000 for synthesis of hierarchical zeolites. Formation of hierarchical structure of zeolites is shown using X-ray diffraction, SEM, IR-spectroscopy and BET methods.

Keywords: alkylation, hierarchical zeolite, synthetic zeolite, catalyst, recrystallization.

**А.Т. Масенова*, А.С. Жумақанова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова,
А.З. Абильмагжанов, 2025.**

«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия
институты» АҚ, Алматы, Қазақстан.
E-mail: almasenova@mail.ru

АРОМАТТЫ КӨМІРСУТЕКТЕРДІ АЛКИЛДЕУГЕ АРНАЛҒАН ZSM-5, НУ ЖӘНЕ ВЕА СИНТЕТИКАЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ИЕРАРХИЯЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕР

Масенова Алма Төлегенқызы – химия ғылымдарының докторы, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» органикалық катализ зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: almasenova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2251-0549>;

Жумақанова Ардақ Сыдыққызы – химия ғылымдарының кандидаты, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» органикалық катализ зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: zhumakanova62@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4983-4199>;

Торлопов Иван Игоревич – АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» технологиялық процестерді модельдеу секторының кіші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: myndfrea@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Рахметова Кенжегүл Сағынбайқызы – АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» технологиялық процестерді модельдеу секторының ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: rahmetova_75@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Әбилмагжанов Арлан Зайнуталлаұлы – химия ғылымдарының кандидаты, Бас директордың бірінші орынбасары, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: a.abilmagzhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Аннотация. Ароматты көмірсутектерді алкилдеу – стирол негізіндегі полимерлерді (полистирол, стирол-бутадиенді каучукты, пенополистиролды және т.б.) алудың негізгі ауқымды мұнай-химиялық процесі, оған әлемдік сұраныс жыл

сайын артып келеді. Қазіргі уақытта әлемде $AlCl_3$ қатысында бензолды этиленмен алкилдеудің ескі технологиясы қолданылады, оны ауыстыру тек Қазақстан үшін ғана емес, бүкіл әлемде өзекті болып табылады. Химиялық қосылыстардың белгілі бір құрылымын синтездеу үшін катализаторларды белгіленген бақыланатын қасиеттерімен (кеуектер мен арналардың мөлшері мен пішіні, дисперстілігі және т.б.) синтездеуге болатын тиімді қатты қышқылды цеолиттермен алмастыру қажет, бұл қажет өнімдерді, әсіресе мұнай-химиялық процестерде іріктеп алу үшін орасан зор перспективалар ашады. Дегенмен, цеолиттердің қалыпты қаңқалық құрылымы арналарының өлшемдері мен пішініне байланысты шектеулері бар, олар кеуектердегі масса алмасу (диффузияны тежеу және конфигурациялау әсері) және химиялық өзгерістер бағыты (көлемі мен пішіні бойынша таңдау) арқылы анықталады. Иерархиялық цеолиттер бұл шектеулерді жоюға мүмкіндік береді, олар микрокеуектер мен мезокеуектердің болуымен сипатталады, яғни. бір материалдағы әртүрлі кеукті құрылымдар. Иерархиялық цеолиттерді синтездеудің әртүрлі әдістері бар, мысалы, битемплатты синтездеу, силанизациялау, деламинирлеу пилларирлеу және т.б. Олардың ішінде синтетикалық цеолиттердің беттік-белсенді заттардың (БАЗ) көмегімен қайта кристалдануы тартымды болып табылады, ол реакциялық қоспаның рН-ын аралық түзетумен цеолитті сілтінің және беттік белсенді заттың қатысуымен екі сатылы гидротермиялық өңдеуден тұрады. Бұл жұмыста қолданылған синтетикалық цеолиттердің негізінде иерархиялық цеолиттерді синтездеу үшін полиэтиленгликоль-10000 көмегімен синтетикалық цеолиттердің үш түрін – Y, BEA және ZSM-5 қайта кристалдандыру бойынша зерттеулердің нәтижелері берілген. Цеолиттердің иерархиялық құрылымының қалыптасуы РФА, СЭМ, ИҚ-спектроскопия, БЭТ және порометрия әдістерін қолдану арқылы көрсетілді.

Түйін сөздер: алкилдену, иерархиялық цеолит, синтетикалық цеолит, катализатор, қайта кристалдану.

**А.Т. Масенова*, А.С. Жумаканова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова,
А.З. Абиьмагжанов, 2025.**

АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан.

E-mail: almasenova@mail.ru

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ЦЕОЛИТЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ ZSM-5, HY И BEA ДЛЯ АЛКИЛИРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Масенова Алма Тулегеновна – доктор химических наук, главный научный сотрудник, Лаборатория органического катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: almasenova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2251-0549>;

Жумаканова Ардак Сыдыковна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Лаборатория органического катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: zhumakanova62@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4983-4199>;

Торлопов Иван Игоревич – младший научный сотрудник АО «Институт топлива, катализа и

электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: myndfrea@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9660-6397>;

Рахметова Кенжегүль Сагинбаевна – научный сотрудник, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», E-mail: rahmetova_75@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2098-3169>;

Абильмагжанов Арлан Зайнуталлаевич – кандидат химических наук, Первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: a.abilmagzhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2931-9640>.

Аннотация. Алкилирование ароматических углеводородов – это базовый многотоннажный процесс нефтехимии для производства полимеров на основе стирола (полистирола, бутадиен-стирольного каучука, пенополистирола и др.), мировой спрос на которые ежегодно увеличивается. В настоящее время в мире применяется старая технология алкилирования бензола этиленом в присутствии $AlCl_3$, замена которой актуальна не только для Казахстана, но и всего мира. Необходима замена катализаторов на эффективные твердокислотные цеолиты, которые можно синтезировать с заданными регулируемыми свойствами (размер и форма пор и каналов, дисперсность и др.) для синтеза определенного строения химических соединений, что открывает огромные перспективы для избирательного получения нужных продуктов, особенно в нефтехимических процессах. Однако цеолиты имеют ограничение, связанные с размером и формой каналов регулярной каркасной структуры цеолитов, которые определяются массопереносом (диффузионное торможение и конфигурационный эффект) и направлением химических превращений (селективность по размеру и форме) в порах. Эти ограничения позволяют снять иерархические цеолиты, характеризующиеся наличием одновременно микропор и мезопор, т.е. различными пористыми структурами в рамках одного материала. Существуют различные методы синтеза иерархических цеолитов, как битемплатный синтез, силанизация, деламинация, пилларирование и др. Среди них привлекает рекристаллизация синтетических цеолитов с помощью ПАВ, заключающаяся в двухстадийной гидротермальной обработке цеолита в присутствии щелочи и ПАВ с промежуточной коррекцией pH реакционной смеси. В настоящей работе приводятся результаты исследований по рекристаллизации трех типов синтетических цеолитов - Y, BEA и ZSM-5 с применением полиэтиленгликоля-10000 для синтеза иерархических цеолитов. Методами РФА, СЭМ, ИК-спектроскопии и БЭТ показано формирование иерархической структуры цеолитов.

Ключевые слова: алкилирование, иерархический цеолит, синтетический цеолит, катализатор, рекристаллизация.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе целевого финансирования МОН РК BR24992812 «Создание научных основ в области разработки новых композитных каталитических систем с улучшенными свойствами на основе переходных и редкоземельных металлов»

Введение. Синтез этилбензола – основной процесс алкилирования, является одним из самых многотоннажных базовых процессов нефтехимии, при этом он используется для производства полимеров на основе стирола (полистирола, бутадиен-стирольного каучука, пенополистирола и др.), мировой спрос на которые ежегодно увеличивается. В настоящее время в мире применяется старая технология алкилирования бензола этиленом в присутствии $AlCl_3$, замена которой актуальна не только для Казахстана, но и всего мира (Niwa, et al, 2010).

В последнее время цеолитные катализаторы повсеместно вытесняют традиционные катализаторы во многих процессах нефтепереработки и нефтехимического синтеза. Механизм алкилирования базируется на образовании промежуточного карб-катиона, поэтому наиболее подходящими катализаторами этой реакции являются цеолиты. Варьированием методики приготовления, природы темплата и ПАВ можно конструировать цеолиты с заданными параметрами (размер и форма пор и каналов, дисперсность и др.) для синтеза определенного строения химических соединений, что открывает огромные перспективы для избирательного получения нужных продуктов, особенно в нефтехимических процессах (Farrauto, et al, 2006; Primo, et al, 2014).

Однако, диффузионные ограничения внутри микропор, применяемых в таких нефтехимических процессах, как крекинг, изомеризация и алкилирование, ведут к их низкой степени использования и быстрой дезактивации за счет закоксования и блокировки пор (Pai, et al, 2021; Huseynova, et al, 2022). Было показано, что, несмотря на значительный интерес к поиску активных и стабильных твердокислотных катализаторов алкилирования, применение коммерческих цеолитов, удовлетворяющих требованиям к кислотно-основным характеристикам поверхности, сталкивается с трудностями в применении ввиду ограничений, связанных с размером и формой каналов регулярной каркасной структуры цеолитов (Алиев, 2010). Эти ограничения определяются массопереносом (диффузионные торможения и конфигурационный эффект) и направлением химических превращений (селективность по размеру и форме) в порах. В этой связи особенную значимость приобрели иерархические цеолиты – модифицированные материалы, характеризующиеся наличием одновременно микропор и мезопор, т.е. различными пористыми структурами в рамках одного цеолитного каркаса.

Согласно данным исследований последних лет, иерархические цеолиты, содержащие помимо микропор транспортную систему мезо/макропор, оказались эффективнее и стабильнее традиционных микропористых катализаторов в промышленно важных реакциях синтеза этилбензола, каталитического крекинга и изомеризации (Dong, et al, 2018; Han, et al, 2021; Rastegar, et al, 2020).

Иерархические цеолиты представляют собой алюмосиликаты с кристаллической структурой, обладающие рядом с микропорами вторичной пористостью в диапазоне мезопор и/или мелких макропор. Они включают в себя мезопористые и макропористые сети. Мезо- и макропористость обеспечивают эффективный транспорт молекул при сохранении высокой селективности формы, достижимой за счет микропористости исходного цеолита. Иерархические цеолиты

в основном разрабатываются путем постсинтеза и предсинтеза или модификации цеолитов (Ratnakar, et al, 2022; Na, et al, 2015). Иерархические цеолиты демонстрируют улучшенные каталитические характеристики по сравнению с обычными микропористыми цеолитами. Это улучшение во многом объясняется участием крупных соединений, поскольку вторичная пористость позволяет им беспрепятственно диффундировать в активные центры внутри каналов.

Иерархические цеолиты обычно могут быть получены путем (i) создания внутрикристаллических мезопор внутри микропористой структуры цеолита, или (ii) введения межкристаллических мезопор в пространства, которые срастаются наноразмерными кристаллами цеолита. Методы синтеза играют очень важную роль на разных уровнях иерархической пористости (Kerstens, et al, 2020; Chen, et al, 2020).

В настоящее время разработаны и изучены такие методы синтеза иерархических цеолитов, как битемплатный синтез, силанизация, деламинирование, пилларирование и др. (Lee, et al, 2023; Ivanova, et al, 2013). Среди перечисленных методов рекристаллизация практически не изучена, хотя она может быть отнесена к наименее энерго- и ресурсоемким методам синтеза. Сущность метода рекристаллизации заключается в двухстадийной гидротермальной обработке цеолита в присутствии щелочи и ПАВ с промежуточной коррекцией pH реакционной смеси. Как показано на примере цеолитов MFI, MOR и BEA (Lin, et al, 2018; Wawrzyńczak, et al, 2023; Xu, et al, 2019), на первой стадии под действием щелочи происходит частичное растворение цеолита с переходом цеолитных фрагментов различной дисперсности в жидкую фазу. В ходе второй стадии после коррекции pH происходит сборка полученных цеолитных фрагментов в мезопористую структуру, локализация и количество которой зависит от концентрации щелочи и степени деструкции цеолита на первой стадии.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по рекристаллизации трех типов синтетических цеолитов – Y, BEA и ZSM-5 с применением полиэтиленгликоля-10000 для синтеза иерархических цеолитов на основе использованных синтетических цеолитов.

Материалы и основные методы

Для отработки методики рекристаллизации использовали импортные коммерческие цеолиты, перечисленные в таблице 1, а также дополнительные материалы и реактивы, представленные в таблице 2.

Таблица 1 – Коммерческие цеолиты, использовавшиеся при отработке методики рекристаллизации

Марка цеолита	Катион	Si:Al	Средний размер пор, нм	$S_{\text{вп}}$, м ² /г
Цеолит Y	H	80	0,70	780
Цеолит BEA	H	40	0,60–0,65	725
Цеолит ZSM-5	NH ₄	80	0,54	425

Таблица 2 – Материалы, использовавшиеся при отработке методики рекристаллизации

Материал	Квалификация	Формула	НТД
Кислота азотная	«х.ч.»	HNO ₃	ГОСТ 4461-77
Аммиак водный	«х.ч.»	NH ₃ ·H ₂ O	ГОСТ 3760-79
Кислота лимонная	«ч.д.а.»	C ₃ H ₅ O(COOH) ₃	ГОСТ 3652-69

Полиэтиленгликоль–10000	«имп.»	$C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$	—
Натрия гидроксид	«х.ч.»	NaOH	ГОСТ 4328–77
Вода дистиллированная	—	H ₂ O	ГОСТ 6709–72

Для отработки методики кристаллизации рассматривались различные методики, представленные в литературе (Lee, et al, 2023; Na, et al, 2015; Chen, et al, 2020). В ходе анализа составлена методика, аналогичная описанной в (Al-Ani, et al, 2019).

Исходные цеолиты обрабатывали следующим образом: навеску цеолита смешивали с водой, pH суспензии доводили до ~5,5–5,7 с помощью азотной кислоты или водного аммиака. Далее суспензию перемешивали с 10%-ной лимонной кислотой в течение 1 ч при комнатной температуре. После центрифугирования и промывки дистиллированной водой порошок отделяли и сушили 1 ч при комнатной температуре.

Далее цеолит повторно суспендировали в растворе, содержащем NaOH и полиэтиленгликоль (ПЭГ). Смесь выдерживали в течение 8 ч при 80–100 °С, во избежание испарения воды использовали установку, составленную из колбы со смесью, соединенной с вертикальным холодильником.

По окончании введения ПЭГ порошок отделяли двукратным фильтрованием горячего раствора на фильтре «Синяя лента», промывали и сушили в течение ночи.

Для удаления ПЭГ образец прокаливали в печи при 450°С в течение 1 ч, затем поднимали температуру печи до 550°С и выдерживали еще 2 ч.

Исходные и обработанные образцы исследовали рядом физико-химических методов:

- рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактографе ДРОН–4–07;
- ИК-спектроскопии (ИКС) на ИК-спектрометре Nicolet iS5;
- сканирующей электронной микроскопии на микроскопе (СЭМ) JEOL JES–ME–3X;
- определения текстуры методом БЭТ на газоадсорбционном порометре Thermo Scientific Surfer.

Результаты и обсуждение

Метод рекристаллизации включает частичное растворение и повторную сборку структуры цеолита [17–19, 28–30]. Первый этап рекристаллизации представляет собой частичное растворение каркаса цеолита и удаление его фрагментов, в то время как второй этап повторной сборки заключается в том, чтобы эти растворяющиеся частицы образовали мезопористую фазу. Ключевым параметром процесса является степень растворения, определяющая структурные и текстурные свойства конечного продукта (рисунок 1).

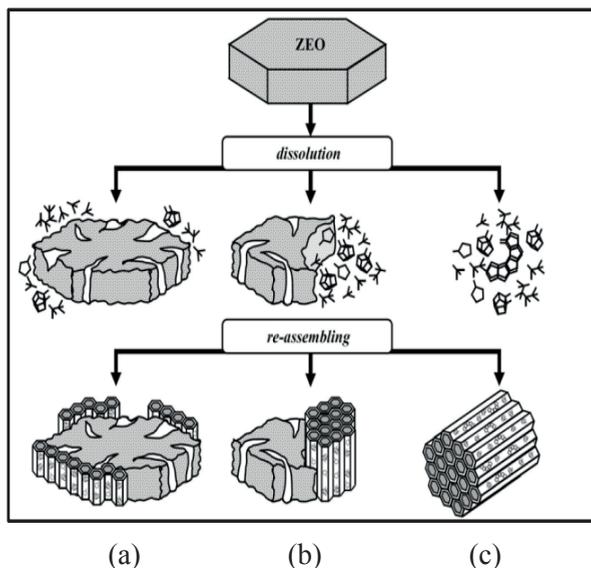


Рисунок 1 – Схематическое отображение процесса рекристаллизации и возможных видов образуемых материалов (Ivanova, et al, 2013)

При мягкой перекристаллизации образуются мезоструктурированные кристаллы с внутрикристаллическими и межкристаллическими мезопорами (рисунок 1, а), при глубокой перекристаллизации – микро-мезопористые наноконкомпозиты, содержащие сокристаллизованные кристаллы цеолитов и упорядоченные мезопористые фазы (рисунок 1, б), и при полной перекристаллизации – мезопористые материалы из малых цеолитовых ячеек (рисунок 1, с). Метод рекристаллизации, в отличие от темплатирования в ходе кристаллизации, удобен, т.к. позволяет исходить из некоторой исходной структуры и топологии поверхности цеолита.

Для придания цеолитам дополнительной пористости, как правило, широко используются ПАВ. Процессы перекристаллизации с использованием темплатных ПАВ разделяют на две категории.

В качестве реагента, придающего при сборке цеолиту мезопористость, применяют различные ПАВ (СТАВ, ПЭГ, полисахариды и т.д.). При этом разработки в данной области сохраняют актуальность ввиду недостаточной изученности влияния разных ПАВ и условий рекристаллизации на конечные характеристики продукта.

В данной работе в процессе рекристаллизации трех синтетических цеолитов использовался ПЭГ-1000.

На рисунке 2 представлены данные анализа исходных образцов методом РФА. Полученные дифрактограммы позволяют утверждать, что все исходные образцы представляют собой фазово-чистые цеолиты: HY (JCPDS 77–1549), BEA (JCPDS 47–183), ZSM–5 (JCPDS 43–322).

Обработка цеолитов привела к значительной аморфизации, связанной с

разрушением их исходной структуры: данные РФА (рисунок 3) показали, что в случае цеолитов HY и BEA аморфизация произошла полностью, в случае цеолита ZSM-5 – частично. На это в том числе указывает и разупорядочение структуры цеолита ZSM-5, о котором свидетельствует сдвиг положений основных дифракционных максимумов в направлении больших значений:

- грань (421) – от 4,260 до 4,289 Å;
- грань (501) – от 3,849 до 3,854 Å;
- грань (303) – от 3,722 до 3,745 Å;
- грань (133) – от 3,649 до 3,664 Å.

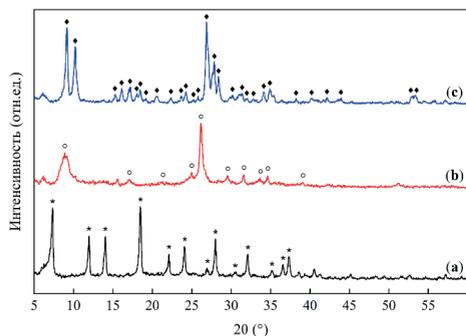


Рисунок 2 – Дифрактограммы исходных цеолитов: а – цеолит HY, б – цеолит BEA, с – цеолит ZSM-5

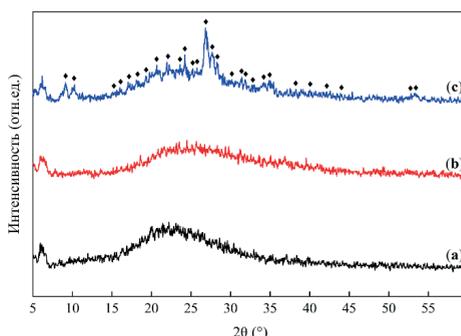


Рисунок 3 – Дифрактограммы обработанных цеолитов: а – цеолит HY, б – цеолит BEA, с – цеолит ZSM-5

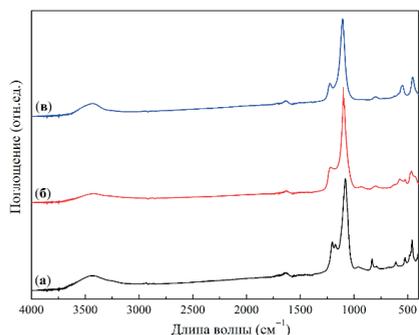


Рисунок 4 – ИК-спектры исходных цеолитов: а – цеолит HY, б – цеолит BEA, в – цеолит ZSM-5

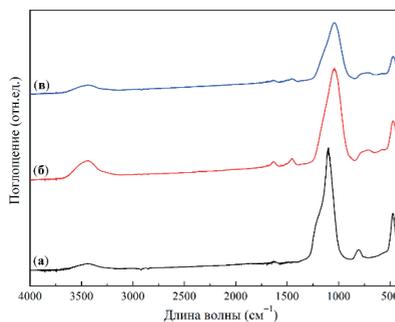


Рисунок 5 – ИК-спектры обработанных цеолитов: а – цеолит HY, б – цеолит BEA, с – цеолит ZSM-5

Аналогичные результаты можно получить из данных ИК-спектроскопии (рисунки 4, 5). Так, помимо общего уменьшения и сглаживания всего спектра, по итогу процедуры обработки наблюдается значительное уменьшение характерной полосы (п.п.) поглощения при 540–580 cm^{-1} , интенсивность которой напрямую связана со степенью кристалличности. Последняя в случае высококремнистых цеолитов со структурой типа MFI (ZSM-5, ЦВМ) может быть рассчитана по эмпирической формуле (Флориан Сильвейра, 1989):

$$C = 2072 D / g - 29, \quad (1)$$

где D – интенсивность п.п. 540–580 см^{-1} , g – навеска образца, мг.

Ориентировочный расчет по формуле (1) дал уменьшение степени кристалличности на 85% относительно исходной величины.

Из результатов РФА и ИКС следует, что полученные образцы были подвергнуты избыточной аморфизации, и для дальнейших работ необходимо уточнение отработанной методики для получения кристаллических образцов.

Результаты анализов исходных и обработанных образцов методом СЭМ сведены на рисунке 6. Данные СЭМ показали, что исходные образцы цеолитов состоят из агломератов размером 0,5–1,0 мкм (особенно узкий диапазон размеров заметен для исходного цеолита ВЕА, рисунок 5, с), которые частично соединены во вторичные агрегаты. Обработка цеолитов, согласно данных СЭМ, ведет к срастанию исходных агломератов в более крупные (до 2,0 мкм) и образованию последними крупных вторичных структур.

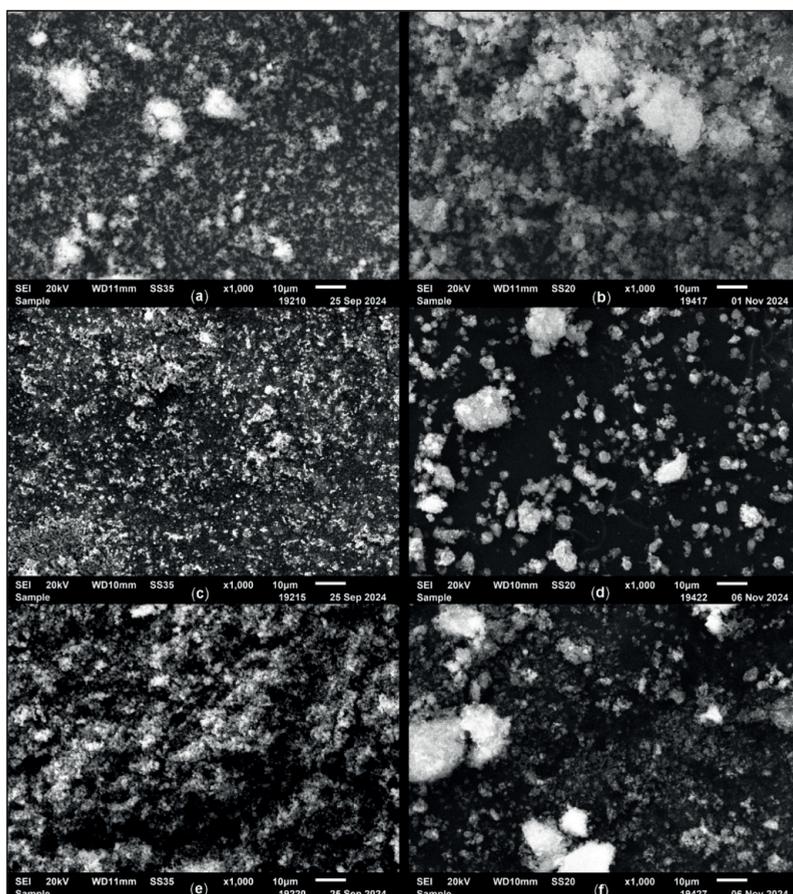


Рисунок 6 – Микрофотографии образцов цеолитов: а – исходный цеолит НУ, б – обработанный цеолит НУ, с – исходный цеолит ВЕА, д – обработанный цеолит ВЕА, е – исходный цеолит ZSM–5, ф – обработанный цеолит ZSM–5

По результатам исследования образцов цеолита НУ до и после обработки были построены изотермы адсорбции азота, представленные на рисунке 7. Данные о величинах удельной поверхности и объема различных пор образцов сведены в таблице 3.

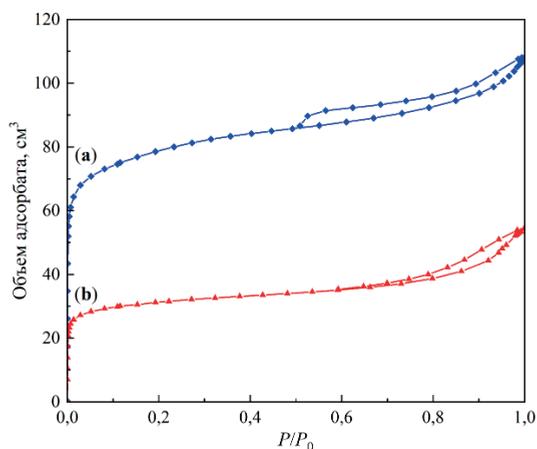


Рисунок 7 – Изотермы адсорбции БЭТ образцов: а – исходный цеолит НУ, б – модифицированный цеолит НУ

Таблица 3 – Текстуальные характеристики образцов цеолита НУ

Образец	Удельная поверхность, м ² /г			Объем пор, см ³ /г			Средний радиус пор, нм	
	Общая	Микро-	Мезо-	Общий	Микро-	Мезо-	Микро-	Мезо-
Исходный	795,4	695,6	99,8	0,528	0,384	0,144	0,6	2,4
Обработанный	427,7	145,3	282,4	0,192	0,047	0,145	1,0	6,9

При модификации цеолита, как видно из рисунка 6, наблюдается общее уменьшение объема адсорбируемого азота, равно как и характерное уменьшение гистерезиса по сравнению с изотермой адсорбции исходного цеолита. Таким образом, из полученных результатов можно заключить, что в ходе перекристаллизации цеолита НУ было успешно достигнуто увеличение поверхности мезопор путем их расширения: общий объем мезопор, вычисленный различными методами, в ходе обработки не изменился и для обоих образцов составил 0,145 см³/г, в то время как поверхность и средний радиус мезопор значительно увеличились при общем уменьшении объема и поверхности микропор.

Наблюдаемые изменения текстуры образцов свидетельствуют о формировании иерархического цеолита из исходного коммерческого цеолита НУ, что позволяет говорить о пригодности разработанной методики рекристаллизации для осуществления синтеза иерархических цеолитов с заданными свойствами.

Заключение

Синтетические цеолиты типа Y, BEA и ZSM-5, являющиеся активными и стабильными твердокислотными катализаторами алкилирования, они

имеют недостатки в применении ввиду ограничений, связанных с размером и формой каналов регулярной каркасной структуры цеолитов. Эти ограничения определяются массопереносом (диффузионное торможение и конфигурационный эффект) и направлением химических превращений (селективность по размеру и форме) в порах. В этой связи особенную актуальность имеет исследование иерархических цеолитов, характеризующихся наличием одновременно микропор и мезопор, т.е. различными пористыми структурами в рамках одного материала. Среди различных методов синтеза иерархических цеолитов (деалюминирование, десилицирование, деламинация, рекристаллизация, темплатный синтез) одним из более привлекательных является рекристаллизация, сводящаяся к частичному растворению исходной структуры цеолита и сборку новой, частично мезопористой структуры.

В качестве реагента, придающего при сборке цеолиту мезопористость, применялся ПЭГ-10000. Была составлена и отработана методика рекристаллизации с ПЭГ трех коммерческих цеолитов Y, BEA и ZSM-5. Результаты анализа продуктов методами РФА, ИКС и СЭМ показали значительную аморфизацию цеолитов, из данных ИКС определена степень аморфизации для цеолита ZSM-5 (85%). При этом результаты исследования изменения текстуры на примере цеолита Y методом БЭТ позволили выявить увеличение поверхности мезопор за счет их расширения при одновременном (неполном) сокращении объема микропор. При этом объем мезопор остается постоянным, подтверждая известные ограничения метода рекристаллизации. Полученные результаты свидетельствуют о формировании иерархических цеолитов по разработанной методике для осуществления дальнейшего синтеза иерархических цеолитов на базе синтетических цеолитов.

Литература

- Al-Ani A., Haslam J.J., Mordvinova N.E., Lebedev O.I., Vicente A., Fernandez C., Zholobenko V. (2019) Synthesis of nanostructured catalysts by surfactant-templating of large-pore zeolites, *Nanoscale Advances*, 1:5:2029-2039. <https://doi.org/10.1039/C9NA00004F>
- Алиев Р.Р. (2010) Катализаторы и процессы переработки нефти. Москва: М, 389 с. ISBN 978-5-94013-138-0.
- Chen L.H., Sun M.H., Wang Z., Yang W., Xie Z., Su B.L. (2020) Hierarchically structured zeolites: from design to application, *Chemical Reviews*, 120:20:1:1194-11294
- Dong P., Li Z., Ji D., Wang X., Yun H., Du Z., Bian J., Li G. (2018) Catalytic benzene mono-alkylation over three catalysts: improving activity and selectivity with MY catalyst, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 90:149-155. <https://doi.org/10.1007/s10847-017-0771-z>
- Farrauto R.J., Bartholomew C.H. (2006) *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*. 2nd ed. N.Y.:Wiley. 995 p. <https://doi.org/10.1002/9780471730071>. ISBN 9780471730071
- Han M., Xue Z., Ling L., Zhang R., Fan M., Wang B. (2021) Effect of Lewis/Brønsted acid sites in HZSM-5 zeolite on the selectivity of *para*-xylene during methylation of toluene with methanol, *Molecular Catalysis*, 509:111622. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111622>
- Huseynova G., Muxtarova G., Aliyeva N., Gasimova G., Rashidova S. (2022) Zeolite-containing catalysts in alkylation processes, *Catalysis Research*, 2:3:1-12. <https://doi.org/10.21926/cr.2203019>
- Ivanova I. I., Knyazeva E.E. (2013) Micro-mesoporous materials obtained by zeolite recrystallization: synthesis, characterization and catalytic applications, *Chemical Society Reviews*, 42:9:3671-3688. <https://doi.org/10.1039/C2CS35341E>.
- Kerstens D., Smeyers B., Van Waeyenberg J., Zhang Q., Yu J., Sels B.F. (2020) State of the art and

perspectives of hierarchical zeolites: practical overview of synthesis methods and use in catalysis, *Advanced Materials*, 32:44:2004690. <https://doi.org/10.1002/adma.202004690>

Lee G., Jang E., Lee T., Jeong Y., Kim H., Lee S., Chung Y.G., Ha K.-S., Baik H., Jang H.-G., Cho S.J., Choi J. (2023) Effective delamination of a layered two-dimensional MCM-22 zeolite: Quantitative insights into the role of the delaminated structure on acid catalytic reactions, *Catalysis Today*, 411:113856. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2022.07.024>

Lin J., Cichocka M.O., Peng F., Yang T., Sun J. (2018) Hierarchical shell-like ZSM-5 with tunable porosity synthesized by using a dissolution-recrystallization approach, *Chemistry A European Journal*, 24:56:14974-14981. <https://doi.org/10.1002/chem.201802014>

Na K., Somorjai G.A. (2015) Hierarchically nanoporous zeolites and their heterogeneous catalysis: current status and future perspectives, *Catalysis Letters*, 145:193-213. <https://doi.org/10.1007/s10562-014-1411-5>

Pai S.M., Das R.K., Kumar S.K., Kumar L., Karemore A.L., Newalkar B.L. (2021) Emerging trends in solid acid catalyst alkylation processes, *Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability: Petrochemicals and Refining Processes*, ed. K.K. Pant, S.K. Gupta, E. Ahmad. – Cham, Switzerland: Springer, 2:109-148. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65021-6_4

Primo A., Garcia H. (2014) Zeolites as catalysts in oil refining, *Chemical Society Reviews*, 43:22:7548-7561. <https://doi.org/10.1039/C3CS60394F>

Rastegar S.F., Sadovska G., Pilar R., Moravkova J., Kaucky D., Brabec L., Pastvova J., Sazama P. (2020) Analysis of decisive structural parameters of zeolites for alkylation of benzene with ethylene, *Applied Catalysis A: General*, 591:117379. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.117379>

Ratnakar R.R., Dindoruk B. (2022) The role of diffusivity in oil and gas industries: fundamentals, measurement, and correlative techniques, *Processes*, 10:6:1194. <https://doi.org/10.3390/pr10061194>

Wawrzyńczak A., Nowak I., Woźniak N., Chudzińska J., Feliczak-Guzik A. (2023) Synthesis and characterization of hierarchical zeolites modified with polysaccharides and its potential role as a platform for drug delivery, *Pharmaceutics*, 15:2:535. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020535>

Флорин Сильвейра Х.Л. (1989) Влияние условий декатионирования на физико-химические и каталитические свойства высококремнеземных цеолитов: автореф. дисс. к.х.н. Л.: ЛТИ, 22 с.

Xu L., Wang F., Feng Z., Liu Z., Guan J. (2019) Hierarchical ZSM-5 zeolite with enhanced catalytic activity for alkylation of phenol with *tert*-butanol, *Catalysts*, 9:2:202. <https://doi.org/10.3390/catal9020202>

References

Al-Ani A., Haslam J.J., Mordvinova N.E., Lebedev O.I., Vicente A., Fernandez C., Zholobenko V. (2019) Synthesis of nanostructured catalysts by surfactant-templating of large-pore zeolites, *Nanoscale Advances*, 1:5:2029-2039. <https://doi.org/10.1039/C9NA00004F> (in Eng.).

Aliyev R.R. (2010) Katalizatory i processy pererabotki nefi [Catalysts and oil refining processes]. Moscow: M, 389 p. ISBN 978-5-94013-138-0 (in Russian)

Chen L.H., Sun M.H., Wang Z., Yang W., Xie Z., Su B.L. (2020) Hierarchically structured zeolites: from design to application, *Chemical Reviews*, 120:20:1:1194-11294 (in Eng.).

Dong P., Li Z., Ji D., Wang X., Yun H., Du Z., Bian J., Li G. (2018) Catalytic benzene mono-alkylation over three catalysts: improving activity and selectivity with MY catalyst, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 90:149-155. <https://doi.org/10.1007/s10847-017-0771-z> (in Eng.).

Farrauto R.J. Bartholomew C.H. (2006) *Fundamentals of Industrial Catalytic Processes*. 2nd ed. N.Y.: Wiley. 995 p. <https://doi.org/10.1002/9780471730071>. ISBN 9780471730071 (in Eng.).

Florian Silveira J.L. (1989) Vliyanie uslovij dekationirovaniya na fiziko-himicheskie i kataliticheskie svojstva vysokokremnezemnyh ceolitov [The influence of decationization conditions on the physicochemical and catalytic properties of high-silica zeolites], author's abstract. diss. L. LTI, 22 p (in Russian)

Han M., Xue Z., Ling L., Zhang R., Fan M., Wang B. (2021) Effect of Lewis/Brønsted acid sites in HZSM-5 zeolite on the selectivity of *para*-xylene during methylation of toluene with methanol, *Molecular Catalysis*, 509:111622. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2021.111622> (in Eng.).

Huseynova G., Muxtarova G., Aliyeva N., Gasimova G., Rashidova S. (2022) Zeolite-containing catalysts in alkylation processes, *Catalysis Research*, 2:3:1-12. <https://doi.org/10.21926/cr.2203019> (in Eng.).

Ivanova I. I., Knyazeva E.E. (2013) Micro-mesoporous materials obtained by zeolite recrystallization:

synthesis, characterization and catalytic applications, *Chemical Society Reviews*, 42:9:3671-3688. <https://doi.org/10.1039/C2CS35341E>. (in Eng.).

Kerstens D., Smeyers B., Van Waeyenberg J., Zhang Q., Yu J., Sels B.F. (2020) State of the art and perspectives of hierarchical zeolites: practical overview of synthesis methods and use in catalysis, *Advanced Materials*, 32:44:2004690. <https://doi.org/10.1002/adma.202004690> (in Eng.).

Lee G., Jang E., Lee T., Jeong Y., Kim H., Lee S., Chung Y.G., Ha K.-S., Baik H., Jang H.-G., Cho S.J., Choi J. (2023) Effective delamination of a layered two-dimensional MCM-22 zeolite: Quantitative insights into the role of the delaminated structure on acid catalytic reactions, *Catalysis Today*, 411:113856. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2022.07.024> (in Eng.).

Lin J., Cichocka M.O., Peng F., Yang T., Sun J. (2018) Hierarchical shell-like ZSM-5 with tunable porosity synthesized by using a dissolution-recrystallization approach, *Chemistry A European Journal*, 24:56:14974-14981. <https://doi.org/10.1002/chem.201802014> (in Eng.).

Na K., Somorjai G.A. (2015) Hierarchically nanoporous zeolites and their heterogeneous catalysis: current status and future perspectives, *Catalysis Letters*, 145:193-213. <https://doi.org/10.1007/s10562-014-1411-5> (in Eng.).

Pai S.M., Das R.K., Kumar S.K., Kumar L., Karemore A.L., Newalkar B.L. (2021) Emerging trends in solid acid catalyst alkylation processes, *Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability: Petrochemicals and Refining Processes*, ed. K.K. Pant, S.K. Gupta, E. Ahmad. – Cham, Switzerland: Springer, 2:109-148. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65021-6_4 (in Eng.).

Primo A., Garcia H. (2014) Zeolites as catalysts in oil refining, *Chemical Society Reviews*, 43:22:7548-7561. <https://doi.org/10.1039/C3CS60394F> (in Eng.).

Rastegar S.F., Sadowska G., Pilar R., Moravkova J., Kaucky D., Brabec L., Pastvova J., Sazama P. (2020) Analysis of decisive structural parameters of zeolites for alkylation of benzene with ethylene, *Applied Catalysis A: General*, 591:117379. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.117379> (in Eng.).

Ratnakar R.R., Dindoruk B. (2022) The role of diffusivity in oil and gas industries: fundamentals, measurement, and correlative techniques, *Processes*, 10:6:1194. <https://doi.org/10.3390/pr10061194> (in Eng.).

Wawrzyńczyk A., Nowak I., Woźniak N., Chudzińska J., Feliczak-Guzik A. (2023) Synthesis and characterization of hierarchical zeolites modified with polysaccharides and its potential role as a platform for drug delivery, *Pharmaceutics*, 15:2:535. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020535> (in Eng.).

Xu L., Wang F., Feng Z., Liu Z., Guan J. (2019) Hierarchical ZSM-5 zeolite with enhanced catalytic activity for alkylation of phenol with *tert*-butanol, *Catalysts*, 9:2:202. <https://doi.org/10.3390/catal9020202> (in Eng.).

CONTENTS

PHYSICS

B.Zh. Abdikarimov, A.Zh. Seitmuratov, B.K. Kaliev, A.G. Ganiulla, T.M. Karabala VISCOSITY PROPERTIES OF THE ISOBUTYRIC ACID-WATER SOLUTION NEAR THE CRITICAL SEPARATION TEMPERATURE.....	5
D.T. Agishev, S.A. Khokhlov, A.T. Agishev, N.L. Vaidman, A.T. Agishev THE STUDY OF RADIATIVE AND CONVECTIVE TRANSPORT IN CLOSE BINARY SYSTEMS WITH LOW ACCRETION RATES.....	17
T.M. Aldabergenova, M.F. Vereshchak, A.S. Dikov, S.B. Kislitsin FINE STRUCTURE OF COATING BASED ON HIGH ENTROPY ALLOY NITRIDES (ALTiZRYNB)N, DETERMINED BY THE CAMS METHOD ON IMPLANTED IRON-57 CORES.....	29
E. Bondar, A. Shongalova, A. Fedosimova, S. Ibraimova, A. Kemelbekova ENHANCING HYDRONIUM ION MOBILITY IN GRAPHENE OXIDE-BASED PROTON EXCHANGE MEMBRANES.....	39
N.N. Zhanturina, G.K. Beketova, Z.K. Aimaganbetova, K.B. Bizhanova MODERN PEROVSKITE SOLAR CELLS: INNOVATIONS IN MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR ENHANCED EFFICIENCY.....	50
U.K. Zhapbasbayev, G.I. Ramazanova, M.A. Pakhomov TURBULENT FLOW OF VISCOPLASTIC FLUID IN A PIPE WITH SUDDEN EXPANSION.....	64
D.M. Zazulin, S.E. Kemelzhanova, N.A. Beissen, A.Sh. Tursumbekov, M.O. Alimkulova GEOMETROTHERMODYNAMICS OF A HOLOGRAPHIC SYSTEM WITH ZERO SOUND.....	78
Y. Myrzakulov, A. Altaibayeva, A. Bulanbayeva PHASE TRANSITIONS AND THERMODYNAMIC BEHAVIOR OF AdS BLACK HOLES COUPLED WITH NONLINEAR ELECTRODYNAMICS.....	89
Sh.A. Myrzakulova, A.A. Zhadyranova INVESTIGATION OF F(G) GRAVITY USING NOETHER SYMMETRY.....	101

D.A. Tolekov, D.M. Zharylgapova, A.M. Mukhambetzhan, A.A. Almagambetova, U.A. Abitaeva
ELECTRON-HOLE TRAPPING CENTERS IN ULTRA-VIOLET IRRADIATED
LI₂SO₄-Mn CRYSTALS.....115

S.U. Sharipov, I.F. Spivak-Lavrov
ELECTROSTATIC CHARACTERISTICS OF THE EDGE FIELD BETWEEN
THE DEFLECTOR PLATES AND THE GROUNDED SCREEN.....125

L.I. Shestakova, A.V. Serebryanskiy, Spassiyuk Ruslan, Ch.T. Omarov
SEARCH FOR COMETARY-METEORITIC DUST IN THE INNER REGION OF
THE SOLAR SYSTEM: THERMAL EMISSION IN THE DUST CORONA.....138

CHEMISTRY

R.S. Abzhalov, Sh.T. Koshkarbayeva, A.K. Dikanbayeva, M.S. Satayev, B.S. Serikbayeva
STUDY OF THE OBTAINING OF SILVER NANOPARTICLES ON THE
POLYMER SURFACE USING PHOTOCHEMICAL ACTIVATION.....147

K.T. Arynov, A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva, A.M. Ibrayeva
X-RAY PHASE AND THERMOANALYTICAL STUDY OF NEMALITE FROM
THE ZHITIKARINSKOE DEPOSIT (KAZAKHSTAN).....160

G.Zh. Baisalova, A.S. Zhumadil, B.B. Torsykbaeva, D.T. Sadyrbekov, K.T. Umerdzhanova
CHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF ELEAAGNUS
ANGUSTIFOLIA.....173

N.N. Zhanikulov, D.K. Zhurgarayeva, G. Mukhtarhanova
INVESTIGATION OF THE SUITABILITY OF HEAP LEACHING WASTE FROM
THE PROCESSING OF GOLD-BEARING ORE AS A RAW MATERIAL
FOR PORTLAND CEMENT.....184

A.A. Zheldybaeva, A.CH. Katashova, K.A. Iskakov, D.E. Nurmukhanbetova, A. Azamatkyzy
NATURAL CRITERIA OF VEGETABLE JUICES AND THEIR QUALITY
DETERMINATION.....196

A.B. Issayeva, A.A. Sharipova, M.O. Issakhov, G.A. Kadyrbekova
ROLE OF MICROENCAPSULATED HUMIC ACID BASED ON BIOPOLYMERS
IN PLANT GROWTH STIMULATION.....205

- A.T. Massenova*, A.S. Zhumakanova, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, A.Z. Abilmagzhanov, 2025.**
HIERARCHICAL ZEOLITES BASED ON SYNTHETIC ZEOLITES ZSM-5, HY AND BEA FOR ALKYLATION OF AROMATIC HYDROCARBONS.....219
- A.K. Nurlybekova, A.A. Minkayeva, E. Shybyrai, H.A. Aisa, J. Jenis**
GC-MS STUDY OF ORGANIC AND MINERAL COMPONENTS IN ARTEMISIA SPECIES FROM KAZAKHSTAN.....233
- T.S. Khosnutdinova, A.O. Sapieva, N.G. Gemedzhieva, Zh.Zh. Karzhaubekova, N.A. Sultanova**
DEVELOPMENT OF A BIOLOGICALLY ACTIVE COMPLEX FROM THE ROOTS OF *FERULA FOETIDA* (BUNGE) REGEL EXHIBITING ANTIOXIDANT ACTIVITY.....252

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

- Б.Ж. Әбдікәрімов, А.Ж. Сейтмұратов, Б.К. Калиев, Ә.Ғ. Ғаниұлла,
Т.М. Қарабала**
СЫНДЫҚ ТЕМПЕРАТУРА МАҢЫНДАҒЫ ИЗОМАЙ ҚЫШҚЫЛЫ – СУ
ЕРІТІНДІСІНІҢ ТҰТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....5
- Д.Т. Агишев, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, Н.Л. Вайдман, А.Т. Агишев**
АККРЕЦИЯ ҚАРҚЫНЫ ТӨМЕН ТЫҒЫЗ ҚОС ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ
РАДИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНВЕКТИВТІ ТАСЫМАЛДАУДЫ ЗЕРТТЕУ.....17
- Т.М. Алдабергенова, М.Ф. Верещак, А.С. Диков, С.Б. Кислицин**
ИМПЛАНТАЦИЯЛАНҒАН ТЕМІР-57 ЯДРОЛАРЫНДА КИМС ӘДІСІМЕН
АНЫҚТАЛҒАН ЖОҒАРЫ ЭНТРОПИЯЛЫҚ ҚОРЫТПА НИТРИДТЕРІ
(ALTIZYNB) N НЕГІЗІНДЕГІ ЖҰҚА ЖАБЫН ҚҰРЫЛЫМЫ.....29
- Е. Бондарь, А. Шонғалова, А. Федосимова, С. Ибраимова, А. Кемелбекова**
ГРАФЕН ОКСИДІ НЕГІЗІНДЕГІ ПРОТОН АЛМАСУ МЕМБРАНАЛАРЫНДА
ГИДРОНИЙ ИОНДАРЫНЫҢ ҚОЗҒАЛҒЫШТЫҒЫН АРТТЫРУ.....39
- Н.Н. Жантурина, Г.К. Бекетова, З.К. Аймаганбетова, К.Б. Бижанова,
Л.У. Таймуратова**
ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ПЕРОВСКИТТІ КҮН БАТАРЕЯЛАРЫ: ТИІМДІЛІКТІ
АРТТЫРУҒА АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРДАҒЫ
ИННОВАЦИЯЛАР.....50
- Ұ.Қ. Жапбасбаев, Г.І. Рамазанова, М.Ф. Пахомов**
КЕНЕТТЕН КЕҢЕЮІ БАР ҚҰБЫРДАҒЫ ТҰТҚЫР-ПЛАСТИКАЛЫҚ
СҰЙЫҚТЫҚТЫҢ ТУРБУЛЕНТТІК АҒЫНЫ.....64
- Д.М. Зазулин, С.Е. Кемелжанова, Н.Ә. Бейсен, А.Ш. Турсумбеков,
М.О. Алимқулова**
НӨЛДІК ДЫБЫСЫ БАР ГОЛОГРАФИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ
ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....78
- Е.М. Мырзакулов, А.Б. Алтайбаева, А.С. Бұланбаева**
СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЭЛЕКТРОДИНАМИКАМЕН БАЙЛАНЫСҚАН AdS ҚАРА
ҚҰРДЫМДАРДЫҢ ФАЗАЛЫҚ АУЫСУЛАРЫ МЕН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ
СИПАТТАМАЛАРЫ.....89

Ш.А. Мырзакулова, А.А. Жадыранова НЕТЕР СИММЕТРИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, F(G) ГРАВИТАЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ.....	101
Д.А. Төлеков, Д.М. Жарылғапова, А.М. Мұхамбетжанова, А.А. Алмағамбетова, Ұ.Ә. Әбітаева УЛЬТРА-КҮЛГІНМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН Li_2SO_4 -Mn-дегі ЭЛЕКТРОНДЫ- КЕМТІКТІ ҚАРМАУ ОРТАЛЫҚТАРЫ.....	115
С.У. Шарипов, И.Ф. Спивак-Лавров ДЕФЛЕКТОРЛЫҚ ПЛАСТИНАЛАР МЕН ЖЕРГЕ ТҰЙЫҚТАЛҒАН ЭКРАН АРАСЫНДАҒЫ ШЕТТІК ӨРІСТІҢ ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ.....	125
Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, Р.Р. Спасюк, Ч.Т. Омаров КҮН ЖҮЙЕСІНІҢ ШІКІ АЙМАҒЫНДАҒЫ КОМЕТАЛЫҚ-МЕТЕОРЛЫҚ ШАҢДЫ ІЗДЕУ: ШАҢДЫ КОРОНАДАҒЫ ЖЫЛУ ЭМИССИЯСЫ.....	138
ХИМИЯ	
Р.С. Абжалов, Ш.Т. Кошкарбаева, А.К. Диканбаева, М.С. Сатаев, Б.С. Серикбаева ФОТОХИМИЯЛЫҚ АКТИВТЕНДІРУ АРҚЫЛЫ ПОЛИМЕР БЕТІНЕН КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРДІ АЛУДЫ ЗЕРТТЕУ.....	147
К. Арынов, А. Ауешов, Ч. Ескибаева, А. Диканбаева, А. Ибраева ЖІТІҚАРА КЕНОРНЫНЫҢ НЕМАЛИТҚҰРАМДАС ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТІН РЕНТГЕНОФАЗАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРМОАНАЛИТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	160
Г.Ж. Байсалова, Ә.С. Жұмаділ, Б.Б. Торсыкбаева, Д.Т. Садырбеков, К.Т. Умерджанова ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA ЖЕМІСТЕРІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІ.....	173
Н.Н. Жаникулов, Д.К. Жургараева, Г. Мұхтарханова, А.С. Байлен, А.К. Свидерский ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ АЛУ ҮШІН АЛТЫН КЕНІН ӨҢДЕУДЕН АЛЫНҒАН ҮЙІНДІ ШАЙМАЛАУ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ШИКІЗАТ РЕТІНДЕ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	184
А.А. Жельдыбаева, А.Ч. Каташева, К.А. Искаков, Д.Е. Нурмуханбетова, А. Азаматқызы КӨКӨНІС ШЫРЫНДАРЫНЫҢ ТАБИҒИ КРИТЕРИЙЛЕРІ МЕН САПАСЫН АНЫҚТАУ.....	196

- А.Б. Исаева, А.А. Шарипова, М.О. Исахов, Г.А. Кадирбекова**
БИОПОЛИМЕРЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН МИКРОКАПСУЛДАНҒАН
ГУМИН ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨСУІН ЫНТАЛАНДЫРУДАҒЫ
РӨЛІ.....205
- А.Т. Масенова, А.С. Жумақанова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова,
А.З. Абильмагжанов**
АРОМАТТЫ КӨМІРСУТЕКТЕРДІ АЛКИЛДЕУГЕ АРНАЛҒАН ZSM-5, НҮ
ЖӘНЕ ВЕА СИНТЕТИКАЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН
ИЕРАРХИЯЛЫҚ ЦЕОЛИТТЕР.....219
- А.К. Нурлыбекова, А.А. Минкаева, Е. Шыбырай, Х.А. Айса, Ж. Жеңіс**
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ *ARTEMISIA* ТҮРЛЕРІНІҢ ОРГАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ
МИНЕРАЛДЫ ҚҰРАМЫН ГХ-МС АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ.....233
- Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сәпиева, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Қаржаубекова,
Н.А. Сұлтанова**
FERULA FOETIDA (BUNGE) REGEL ТАМЫРЫНАН АНТИОКСИДАНТТЫҚ
БЕЛСЕНДІЛІГІ БАР БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ КЕШЕНДІ АЛУ.....252

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

- Б.Ж. Абдикаримов, А.Ж. Сейтмуратов, Б.К. Калиев, А.Г. Ганиулла, Т.М. Карабала**
СВОЙСТВА ВЯЗКОСТИ РАСТВОРА ИЗОМАСЛЯНАЯ КИСЛОТА – ВОДА ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАССЛОЕНИЯ.....5
- Д.Т. Агишев, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, Н.Л. Вайдман, А.Т. Агишев**
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО И КОНВЕКТИВНОГО ПЕРЕНОСА В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ С МАЛЫМ ТЕМПОМ АККРЕЦИИ ВЕЩЕСТВА.....17
- Т.М. Алдабергенова, М.Ф. Верещак, А.С. Диков, С.Б. Кислицин**
ТОНКАЯ СТРУКТУРА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА (ALTiZrYbN)_N, ОПРЕДЕЛЕННАЯ КЭМС МЕТОДОМ НА ЯДРАХ ИМПЛАНТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА-57.....29
- Е. Бондарь, А. Шонгалова, А. Федосимова, С. Ибраимова, А. Кемелбекова**
ПОВЫШЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ ГИДРОНИЯ В ПРОТОНООБМЕННЫХ МЕМБРАНАХ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА....39
- Н.Н. Жантурина, Г.К. Бекетова, З.К. Аймаганбетова, К.Б. Бижанова, Л.У. Таймуратова**
СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРОВСКИТНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ: ИННОВАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ И ТЕХНОЛОГИЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....50
- У.К. Жапбасбаев, Г.И. Рамазанова, М.А. Пахомов**
ТУРБУЛЕНТНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ С РЕЗКИМ РАСШИРЕНИЕМ.....64
- Д.М. Зазулин, С.Е. Кемелжанова, Н.А. Бейсен, А.Ш. Турсумбеков, М.О. Алимкулова**
ГЕОМЕТРОТЕРМОДИНАМИКА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НУЛЕВЫМ ЗВУКОМ.....78
- Е.М. Мырзакулов, А.Б. Алтайбаева, А.С. Буланбаева**
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ AdS ЧЕРНЫХ ДЫР СВЯЗАННЫХ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКОЙ....89

Ш.А. Мырзакулова, А.А. Жадыранова
ИССЛЕДОВАНИЕ $F(G)$ ГРАВИТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИММЕТРИИ
НЁТЕР.....101

**Д.А. Толеков, Д.М. Жарылгапова, А.М. Мухамбетжанова,
А.А. Алмагамбетова, У.А. Абитаева**
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ЦЕНТРЫ ЗАХВАТА В ОБЛУЧЕННОМ
УЛЬТРА-ФИОЛЕТОМ-КРИСТАЛАХ Li_2SO_4 -Mn.....115

С.У. Шарипов, И.Ф. Спивак-Лавров
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРАЕВОГО ПОЛЯ МЕЖДУ
ДЕФЛЕКТОРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ И ЗАЗЕМЛЕННЫМ ЭКРАНОМ.....125

Л.И. Шестакова, А.В. Серебрянский, Р.Р. Спасюк, Ч.Т. Омаров
ПОИСК ПЫЛИ КОМЕТНО-МЕТЕОРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВО
ВНУТРЕННЕЙ ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: ТЕПЛОВАЯ
ЭМИССИЯ В ПЫЛЕВОЙ КОРОНЕ.....138

ХИМИЯ

**Р.С. Абжалов, Ш.Т. Кошкарбаева, А.К. Диканбаева, М.С. Сатаев,
Б.С. Серикбаева**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА
ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРА С ПОМОЩЬЮ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ
АКТИВАЦИИ.....147

К.Т. Арынов, А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева, А.М. Ибраева
РЕНТГЕНОФАЗОВОЕ И ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕМАЛИТА ЖИТИКАРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(КАЗАХСТАН).....160

**Г.Ж. Байсалова, А.С.Жумадил, Б.Б. Торсыкбаева, Д.Т. Садырбеков,
К.Т. Умерджанова**
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA*.....173

**Н.Н. Жаникулов, Д.К. Жургараева, Г. Мухтарханова, А.С. Байлен,
А.К. Свидерский**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ ОТХОДОВ КУЧНОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В
КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....184

А.А. Жельдыбаева, А.Ч. Каташева, К.А. Искаков, Д.Е. Нурмуханбетова, А. Азаматкызы ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ И КАЧЕСТВА ОВОЦНЫХ СОКОВ.....	196
А.Б. Исаева, А.А. Шарипова, М.О. Исахов, Г.А. Кадирбекова РОЛЬ МИКРОКАПСУЛИРОВАННОЙ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ БИОПОЛИМЕРОВ В СТИМУЛЯЦИИ РОСТА РАСТЕНИЙ.....	205
А.Т. Масенова, А.С. Жумаканова, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, А.З. Абильмагжанов ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ЦЕОЛИТЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ ZSM-5, H _Y И BEA ДЛЯ АЛКИЛИРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	219
А.К. Нурлыбекова, А.А. Минкаева, Е. Шыбырай, Х.А. Айса, Ж. Женис ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВИДОВ <i>ARTEMISIA</i> ИЗ КАЗАХСТАНА МЕТОДОМ ГХ-МС.....	233
Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сапиева, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Каржаубекова, Н.А. Султанова ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ КОРНЕЙ <i>FERULA FOETIDA</i> (BUNGE) REGEL, ОБЛАДАЮЩЕГО АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	252

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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 work described 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 originality detection service Cross Check <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.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 1.