

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
1 (462)

JANUARY – MARCH 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, РБҚ ҚР ҰҒА президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің 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 (Окефорд, 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, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (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 Вағиф 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>

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (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 **28.02.2025 ж.** берген N°KZ63VPY00113743 Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *химия және химиялық технология*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы РҚБ, 2025

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент РОО Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (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 Международного научно-производственного холдинга «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 Драхметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углекислотной химии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

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

ХАЛИКОВ Джурбай 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>

«Известия НАН РК. Серия химии и технологии».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

Свидетельство №KZ63VPY00113743 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 28.02.2025 г.

Тематическая направленность: химия и химические технологии

Периодичность: 4 раза в год.

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

© РОО Национальная академия наук Республики Казахстан, 2025

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, President of NAS RK RPA, general director of JSC "D.V. Sokolsky Institute of fuel, catalysis and electrochemistry (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 International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (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, Ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (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>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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. KZ66VPY00025419**, issued **29.07.2020**.

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

Periodicity: 4 times a year.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224–5286

Volume 1. Number 462 (2025), 195–205

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.277>

УДК: 546.655; 547.211; 661.961.6; 661.961.622-977; 544.478

D.Y. Shoganbek^{1,2*}, S.A. Tungatarova^{1,2}, D.Yu. Murzin³,

T.S. Baizhumanova¹, M. Zhumabek¹, 2025.

¹JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”,
Almaty, Kazakhstan;

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Laboratory of Industrial Chemistry and Reaction Engineering, Åbo Akademi
University, Turku/Åbo, Finland.

E-mail: dima_box_07@mail.ru

DRY REFORMING OF METHANE ON Co-La-Al AND Co-Ce-Al CATALYSTS PREPARED BY THE SCS METHOD

Shoganbek Dinmukhamed Yelnaruly – PhD student of al-Farabi Kazakh National University, Junior Research Associate of the Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: dima_box_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>;

Tungatarova Svetlana Alexandrovna – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”; Professor of al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: tungatarova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Dmitry Murzin - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Industrial Chemistry and Reaction Engineering, Åbo Akademi University, Turku/Åbo, Finland, E-mail: dmurzin@abo.fi, <https://orcid.org/0000-0003-0788-2643>;

Baizhumanova Tolkyň Saparbekovna - Leading Researcher, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Zhumabek Manapkhān - Senior Researcher, PhD, Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: manapkhān_86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2026-0577>.

Abstract. CO₂ is one of the main greenhouse gases, the utilization of which in terms of capture, use and storage has become an important topic of public discussion and has been reflected in research and development in both academia and industry over the past two decades. From an industrial point of view, CO₂ is considered not only as a waste that has a harmful effect on the environment, but also as an interesting affordable source of valuable products. Although CO₂ has a negative impact on the environment, today it is an interesting and affordable source of valuable products from an industrial point of

view. Thus, its research for physico-chemical processes can open up new horizons for the industry when it is introduced as a raw material into production chains. The process of dry reforming is often considered for the disposal of carbon dioxide. Dry reforming is a very useful process, since it helps not only to recycle the amount of CO_2 and CH_4 , but also to obtain synthesis gas for subsequent use. To date, the application of this process to produce synthesis gas with a high CO and H_2 content in large-scale industries is in the development stage and has not been implemented to this day. The catalysts were prepared by burning the solution. The phase composition and crystal structure of fresh and spent catalysts were analyzed using X-ray phase analysis. The results obtained in the study of dry reforming using catalysts obtained by solution combustion synthesis (SCS) are another step towards progress.

Keywords: catalyst; dry reforming of methane; SCS method; catalysis; cobalt

**Д.Е. Шоғанбек^{1,2*}, С.А. Тунгатарова^{1,2}, Д.Ю. Мурзин³,
Т.С. Байжұманова^{1,2}, М. Жұмабек¹, 2025.**

¹Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты»
АҚ, Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Laboratory of Industrial Chemistry and Reaction Engineering, Åbo Akademi
University, Turku/Åbo, Finland.
E-mail: : dima_box_07@mail.ru

ЖТС ӘДІСІМЕН ДАЙЫНДАЛҒАН Co-La-Al ЖӘНЕ Co-Ce-Al КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНДА МЕТАНДЫ ҚҰРҒАҚ РИФОРМАЛАУ

Шоғанбек Дінмұхамед Елнарұлы – әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің PhD студенті; Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, тотығу катализі зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, E-mail: dima_box_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>;

Тунгатарова Светлана Александровна – химия ғылымдарының докторы, профессор, тотығу катализі зертханасының меңгерушісі, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ; Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің профессоры, Алматы, Қазақстан, E-mail: tungatarova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Дмитрий Мурзин – х.ғ.д., өнеркәсіптік химия және реакциялық инженерия зертханасының меңгерушісі, Або Академия университеті, Турку/Або, Финляндия, E-mail: dmurzin@abo.fi, <https://orcid.org/0000-0003-0788-2643>;

Байжұманова Толқын Сапарбекқызы – жетекші ғылыми қызметкер, химия ғылымдарының кандидаты, тотығу катализі зертханасы, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Жұмабек Манапхан – аға ғылыми қызметкер, PhD, тотығу катализі зертханасы, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: manapkhan_86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2026-0577>.

Аннотация. CO_2 негізгі парниктік газдардың бірі болып табылады. Оны пайдалану және сақтау тұрғысынан кәдеге жарату қоғамдық талқылаудың маңызды тақырыбына айналды және соңғы екі онжылдықта ғылыми ортада да, өнеркәсіпте

де зерттеулер мен әзірлемелерде көрініс тапты. Өнеркәсіптік тұрғыдан алғанда, CO_2 қоршаған ортаға зиянды әсер ететін қалдық ретінде ғана емес, сонымен қатар құнды өнімдердің қызықты қолжетімді көзі ретінде де қарастырылады. CO_2 қоршаған ортаға теріс әсер еткенімен, бүгінгі күні ол өнеркәсіп тұрғысынан құнды өнімдердің қызықты және қолжетімді көзі болып табылады. Осылайша, оның физикалық-химиялық процестерге арналған зерттеулері өндіріс тізбегіне шикізат ретінде енгізілген кезде өнеркәсіп үшін жаңа көкжиектер ашуы мүмкін. Көмірқышқыл газын кәдеге жарату үшін құрғақ риформинг процесі жиі қарастырылады. Құрғақ риформинг өте пайдалы процесс, себебі ол CO_2 -ны және CH_4 кәдеге жаратуға мүмкіндік беріп қана қоймайды, сонымен қатар одан әрі пайдалану үшін синтез газын шығарады. Бүгінгі таңда бұл процесті ауқымды өндірісте жоғары CO және H_2 құрамындағы синтез газын алу үшін қолдану әзірлеу сатысында және әлі іске асырылған жоқ. Катализаторлар ерітіндіні жағу арқылы дайындалды. Жаңа және пайдаланылған катализаторлардың фазалық құрамы мен кристалдық құрылымы рентгендік фазалық талдау арқылы талданды. Өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез (ЖТС) әдісімен алынған катализаторларды пайдаланып құрғақ риформингті зерттеуде алынған нәтижелер ілгерілеудің тағы бір қадамы болып табылады.

Түйін сөздер: катализатор; құрғақ метан риформингі; ЖТС тәсілі; катализ; кобальт

**Д.Е. Шоганбек^{1,2*}, С.А. Тунгатарова^{1,2}, Д.Ю. Мурзин³,
Т.С. Байжуманова^{1,2}, М. Жумабек¹, 2025.**

¹АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского»,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³Лаборатория промышленной химии и реакционной инженерии, Академия Або,
Турку/Або, Финляндия.

E-mail: dima_box_07@mail.ru

СУХОЙ РИФОРМИНГ МЕТАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ Co-La-Al И Co-Ce-Al ПРИГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ СВС

Шоганбек Динмухамед Елнарулы – PhD докторант Казахского Национального университета имени аль-Фараби, младший научный сотрудник лаборатории окислительного катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: dima_box_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3683-7473>;

Тунгатарова Светлана Александровна – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией окислительного катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», профессор Казахского Национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: tungatarova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Дмитрий Мурзин – доктор химических наук, заведующий лабораторией промышленной химии и реакционной инженерии, Университет Або Академи, Турку/Або, Финляндия, E-mail: dmurzin@abo.fi, <https://orcid.org/0000-0003-0788-2643>;

Байжуманова Толкын Сапарбековна – ведущий научный сотрудник, кандидат химических

наук, ассоциированный профессор, лаборатория окислительного катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Жумабек Манапхан – старший научный сотрудник, PhD, лаборатория окислительного катализа, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: manapkhan_86@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2026-0577>.

Аннотация. CO₂ является одним из основных парниковых газов, утилизация которого с точки зрения улавливания, использования и хранения стала важной темой общественного обсуждения и нашла отражение в научных исследованиях и разработках, как в академической среде, так и в промышленности, за последние два десятилетия. С промышленной точки зрения CO₂ рассматривается не только как отход, оказывающий вредное воздействие на окружающую среду, но и как доступный источник ценных продуктов. Несмотря на негативное влияние CO₂ на окружающую среду, в настоящее время он представляет собой перспективное и доступное сырье для промышленности. Таким образом, изучение его применения в физико-химических процессах может открыть новые возможности для внедрения CO₂ в производственные цепочки.

Одним из наиболее изучаемых методов утилизации диоксида углерода является процесс сухого риформинга. Этот процесс играет важную роль, поскольку позволяет не только утилизировать значительные количества CO₂ и CH₄, но и получать синтез-газ для дальнейшего использования. В настоящее время применение этого процесса для получения синтез-газа с высоким содержанием CO и H₂ в крупных промышленных масштабах остается на стадии исследований и пока не реализовано.

Катализаторы для процесса были приготовлены методом сжигания раствора. Фазовый состав и кристаллическая структура свежих и отработанных катализаторов анализировались с помощью рентгенофазового анализа. Полученные результаты исследования сухого риформинга с использованием катализаторов, синтезированных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), являются еще одним шагом на пути к технологическому прогрессу.

Ключевые слова: катализатор, сухой риформинг метана, метод СВС, катализ, кобальт.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе целевого финансирования МОН РК ИРН BR24992995 «Создание научных основ в области разработки новых композитных каталитических систем с улучшенными свойствами на основе переходных и редкоземельных металлов»

Введение. Ископаемое топливо, его добыча и переработка играют важную роль в мировой экономике. Однако, огромное количество выделяемых газов, таких как метан и диоксид углерода, отрицательно влияет на экологию в мире. На сегодняшний день вопрос об утилизации этих газов или их частичном сокращении, а также выбросов их в атмосферу остается открытым. С другой точки зрения эти

газы являются сырьем для процесса риформинга, благодаря которому можно не только утилизировать значительную часть метана и диоксида углерода, но и получить в результате риформинга чистый источник топлива – водород.

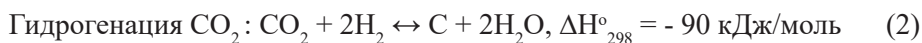
С каждым днем потребление природного газа увеличивается. Если раньше преобразования в энергетике основывались на ценовой конкурентоспособности, то теперь экологические аспекты выбора энергоносителей становятся все более важными. При климатическом кризисе разумное управление мировой нефтегазовой отраслью должно привести нас к низкоуглеродному будущему. Во избежание климатических проблем мировое сообщество спонсирует проекты, основанные на декарбонизации - реструктуризации экономики и энергетических систем для глобального сокращения выбросов вредных газов, что снизит уровень загрязнения окружающей среды. Однако, это идея находится лишь на стадий исследований, проводимых каждый день. По этой причине отказаться от использования традиционных источников энергии полностью невозможно. Благодаря быстрой технологической разведке перспективным вариантом, либо альтернативой нефти может служить природный газ, который имеется в огромных запасах. Сегодня активно разрабатываются процессы переработки метана в различные продукты, такие как синтез-газа, который является важным этапом в преобразовании природного газа в продукты.

Природный газ можно переработать в продукты с повышенной добавленной стоимостью по трем технологическим направлениям: производство синтез-газа, прямая каталитическая конверсия метана в этилен – окислительная конденсация метана, прямое каталитическое окисление метана до кислородсодержащих продуктов – спиртов и формальдегидов.

Одним из наиболее важных способов утилизации метана является каталитическая конверсия метана в синтез-газ, который, в свою очередь, является ключевым промежуточным продуктом для производства жидкого топлива и химических веществ. Дешевым источником для производства водорода может быть природный газ, огромные запасы которого уже известны, а также в избытке выделяется в атмосферу, что является большим преимуществом по сравнению с другими вариантами получения водорода.

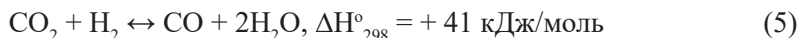
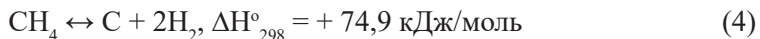
Биогаз может быть использован для получения водорода по технологии, конкурентоспособной по сравнению с традиционными технологиями, основанными на природном газе. Сухой риформинг метана (СРМ), паровой риформинг и частичное окисление - все это возможные общие методы риформинга метана. Из всех трех способов утилизации биогаза, содержащего CH_4 и CO_2 , сухой риформинг считается наиболее эффективным.

Экзотермические побочные реакции, протекающие в процессе СРМ при температурах ниже 530°C , перечислены ниже (уравнения 1-3):





Реакция разложения метана (уравнение 4) и обратного превращения воды в газ (уравнение 5) протекают при высокой температуре:



Синтез-газ является важным продуктом, получение которого из парниковых газов - метана и диоксида углерода, происходит в процессе сухого риформинга метана (Aroga, et al., 2016: 108668; Zoundi, 2017: 1067; Hoehne, et al., 2017: 306; Al-Fatesh, et al., 2019: 473; Al-Fatesh, et al., 2019: 188). Одним из факторов глобального потепления является повышение уровня углекислого газа в атмосфере. Причиной исследований в области передовых методов производства устойчивой энергии стало также истощение запасов ископаемого топлива. Среди других процессов риформинга сухой риформинг метана – это метод, являющийся подходящим для использования CH_4 и CO_2 и для получения ценного синтез-газа, который имеет различные области применения (Song, et al., 2023: 102387; Liu, et al., 2022: 217; Zhang, 2024: e36708). Также биогаз, состоящий в основном из CO_2 и CH_4 , возможно конвертировать в более эффективное топливо с помощью СРМ (Lau, et al., 2011:397; Kwon et al., 2018: 213). Особое влияние на климат и ускорение глобального потепления имеют парниковые газы, образовавшиеся в процессе эксплуатации ископаемых видов топлив (Jiao, et al., 2016: 1065; Cui, et al., 2018: 94). Такие энергоносители, как диметиловый эфир и карбонил, образуются во время переработки газообразного метана, составляющего 80% природного газа. По этой причине такая переработка носит очень важную роль в будущем для энергоснабжения. Также известно, что H_2 и CO , входящие в состав синтез-газа, являются полезными промежуточными веществами для синтеза ряда химических продуктов, к которым относятся легкие олефины, углеводороды и полученное синтезом Фишера-Тропша жидкое топливо (Cui, et al., 2018: 94; Quellar-Franca, et al., 2015: 82; Vieira, et al., 2017: 7141). Благодаря эндотермичности процесса, химическим хранилищем для возобновляемой энергии может выступать СРМ (Sheu, et al., 2015: 12929).

Основная реакция СРМ с получением синтез-газа при соотношении H_2/CO , равном единице, показана в уравнении (6). Это соотношение позволяет использовать газообразные продукты для получения диметилового эфира.



Как известно, такие благородные металлы, как Rh, Pt, Pd и др. обладают свойствами высокой стойкости к осаждению углерода в реакции СРМ. Однако, по сей день их эксплуатация в широких масштабах производства не внедрена по

причине их высокой цены (Polo-Garzon, et al., 2016: 3826; Nemeth, et al., 2015: 608; Forra, et al., 2016: 196). Из благородных металлов заменой им может послужить Ni и Co, их цена дешевле и они имеют хорошие характеристики в реакции CPM (Vasiliades, et al., 2018: 201; Ghani, et al., 2018: 20881). Разница между этими двумя металлами в том, что катализаторы на основе кобальта менее склонны к образованию кокса по сравнению с катализаторами на основе никеля. Благодаря своим уникальным характеристикам, таким как окислительно-восстановительные свойства, отличная емкость для хранения кислорода, катализаторы на основе кобальта также могут быть использованы как замена в реакциях CPM (Park, et al., 2018: 465). Известно применение биметаллических катализаторов на основе кобальта для улучшения каталитических показателей в реакции CPM (Paksoy, et al., 2018: 4321). Химические условия, состав поверхности носителя и структура способствуют изменению эффективности катализаторов на основе кобальта. Взаимодействие между активными металлами и носителями может быть достигнуто в присутствии второго металла в виде оксида кобальта, добавление которого в состав образца способно значительно улучшить его каталитические свойства (Sajjadi, et al., 2014: 111; Abasaeed, et al., 2015: 6818).

Материалы и основные методы

Катализаторы были приготовлены методом сжигания раствора, в которых использовались следующие реагенты: $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma Aldrich, 97%), $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Carlo Erba, 99%), $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (гальванит, химически чистый), $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Alfa Aesar, 99,5%) и 10 г мочевины (Sigma Aldrich, 99,5%). Реагенты помещались в термостойкий стакан, в котором общая масса всех реагентов составила 20 г, из них 10 г мочевины, которая выступала в качестве топлива для улучшения процесса горения. Нагретая до температуры 80°C деионизированная вода (15 мл) добавлялась в химический стакан с нитратами солей и мочевины. Полностью растворенная смесь в стакане помещалась в предварительно нагретую до 500°C муфельную печь на 5-10 минут. В течении указанного промежутка времени осуществлялось горение и получался твердый катализатор в виде пены. Полученные в результате охлажденные катализаторы Co-La-Al и Co-Ce-Al измельчались и помещались в бюкс.

В кварцевый реактор сначала помещалось 2 мл стекловаты, затем 2 мл кварца, стекловата, 2 мл катализатора, снова 2 мл кварца и в конце 2 мл стекловаты. Реакция CPM осуществлялась при атмосферном давлении внутри печи. В центре печи находится термодатчик, который определял точную температуру в слое катализатора. Смесь реакционных газов - CH_4 и CO_2 , разбавленная Ar, при соотношении $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 : \text{Ar} = 1 : 1 : 1$ использовалась в реакционном процессе, при этом скорость прохождения смеси через реактор составила 145 мл мин⁻¹. Анализ CPM проводился при температурах от 600 до 900°C каждые 10 минут на хроматографе Chromos GC-1000 с программным обеспечением Chromos.

Фазовый состав и кристаллическая структура свежих и отработанных катализаторов анализировались с помощью рентгенофазового анализа (РФА) на

дифрактометре ДРОН-4.07. Прибор был оснащен кобальтовой рентгеновской трубкой ($\gamma\text{Co-}\alpha\text{K} = 0,179 \text{ нм}$), обеспечивающей излучение с характерной длиной волны $1,78892 \text{ \AA}$. Анализ проводился в диапазоне углов дифракции от 5° до 100° . Для облегчения идентификации фазы были использованы программное обеспечение HighScore Plus и база данных PDF-4+ (Degen, et al., 2014: 13; Gates-Rector et al., 2019: 352).

Уравнения для расчета параметров процесса, в которых X - конверсия метана и CO_2 :

$$X_{\text{CH}_4} [\%] = \frac{(F_{\text{CH}_4, \text{in}} - F_{\text{CH}_4, \text{out}})}{F_{\text{CH}_4, \text{in}}} \times 100\% \quad (7)$$

$$X_{\text{CO}_2} [\%] = \frac{(F_{\text{CO}_2, \text{in}} - F_{\text{CO}_2, \text{out}})}{F_{\text{CO}_2, \text{in}}} \times 100\% \quad (8)$$

Результаты и обсуждение

Результаты исследования СРМ показаны на рисунке 1, где ясно видно, что при увеличении температуры вместе с ней растет и конверсия CH_4 и CO_2 . Также результаты эксперимента показали, что конверсия на катализаторе Co-La-Al выше, чем на Co-Ce-Al . В обоих случаях каждый из катализаторов показал свой лучший результат при 900°C .

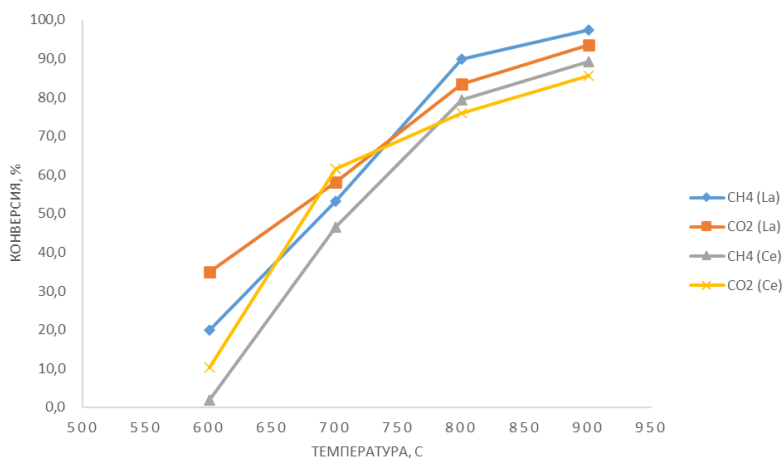


Рисунок 1 - Зависимость конверсии метана и CO_2 от температуры реакции на катализаторах Co-La-Al и Co-Ce-Al

С помощью РФА было установлено образование таких оксидных форм, как CoAl_2O_4 , CeO_2 , AlCeO_3 , а также металлического Co в катализаторе Co-Ce-Al , рисунок 2. Также было установлено присутствие этих форм после сжигания раствора нитратов с мочевиной и в других работах (Degen, et al., 2014: 13).

Кубическая и тетрагональная фаза относится к CeO_2 и CeAlO_3 . Размер кристаллитов металлического кобальта почти не изменялся даже после каталитической реакции. Существует вероятность восстановления оксида церия из CeO_2 в $\text{CeO}_{1.71}$, что является неудовлетворительным результатом, поскольку CeO_2 необходим чтобы предотвратить окисление кобальта, а также он препятствует дезактивации катализатора (Li, et al., 2024: 611). В отработанном Co-Ce-Al катализаторе также обнаружен кокс и графит, что говорит об отсутствии у него способности к предотвращению коксования.

Аналогично предыдущему катализатору, в свежем Co-La-Al присутствует металлический кобальт, CoO и CoAl_2O_4 , рисунок 3. Помимо этого, в данном катализаторе наблюдается наименьший размер кристаллитов кобальта. После каталитической реакции смешанные оксиды разлагались до металлического Co из-за его восстановления во время каталитического процесса. Образовавшиеся в отработанном катализаторе металлический Co и LaAlO_3 имели кристаллическую фазу. Графита и других форм углерода не было обнаружено в отработанном катализаторе, так как в процессе СРМ лантан в составе катализатора защищает поверхность катализатора от образования на нем углерода.

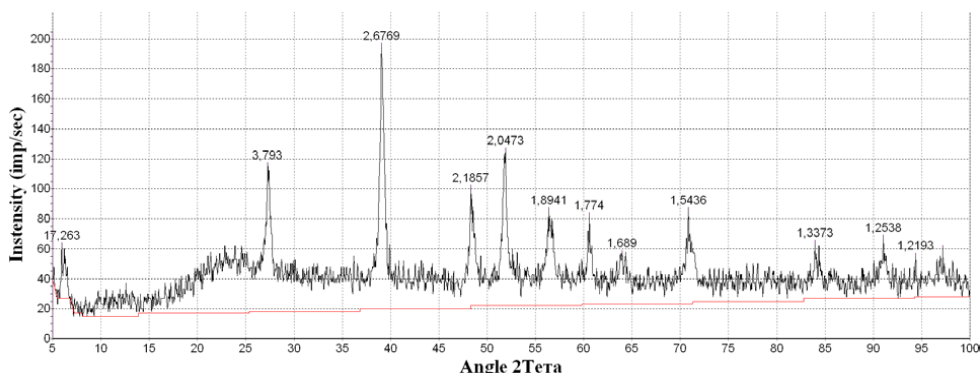


Рисунок 2 - РФА отработанного Co-Ce-Al катализатора

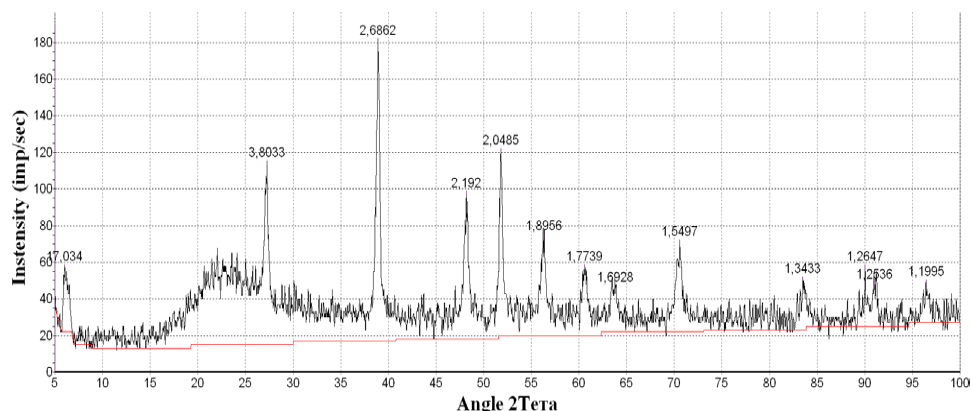


Рисунок 3 - РФА отработанного Co-La-Al катализатора

Заклучение

Оба катализатора показали высокую конверсию метана и CO_2 , зависящую от температуры. Однако результаты использования Co-La-Al катализатора оказались чуть лучше по сравнению со вторым Co-Ce-Al катализатором. РФА также показал схожесть двух катализаторов в том, что в обоих случаях образовывался металлический кобальт, поскольку его оксиды восстанавливались в ходе реакции, и CoAl_2O_4 . Отличительным моментом же стало образования кокса в Co-Ce-Al, и его отсутствие в Co-La-Al. В итоге, по результатам исследования видно, что катализатор, содержащий лантан, имеет определенное преимущество перед вторым образцом.

Литература

- Abasaeed A.E., A.S. Al-Fatesh, M.A. Naeem, A.A. Ibrahim, A.H. Fakeeha (2015) Catalytic performance of CeO_2 and ZrO_2 supported Co catalysts for hydrogen production via dry reforming of methane, *Int. J. Hydrog. Energy* Vol. 40 p. 6818. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.03.152 (in Eng.).
- Al-Fatesh A.S., Arafat Y., Ibrahim A.A., Kasim S.O., Alharthi A., Fakeeha A.H., Abasaeed A.E., Giuseppe Bonura G., Francesco Frusteri F. (2019) Catalytic Behaviour of Ce-Doped Ni Systems Supported on Stabilized Zirconia under Dry Reforming Conditions. *Catalysts* Vol.9 p. 473. DOI: 10.3390/catal9050473 (in Eng.).
- Al-Fatesh A.S., Kasim S.O., Ibrahim A.A., Fakeeha A.H., Abasaeed A.E., Alrasheed R., Ashamari R., Bagabas A. (2019) Combined Magnesia, Ceria and Nickel catalyst supported over γ -Alumina Doped with Titania for Dry Reforming of Methane. *Catalysts* Vol. 9 p. 188. DOI: 10.3390/catal9020188 (in Eng.).
- Arora S., Prasad R. (2016) An overview on dry reforming of methane: Strategies to reduce carbonaceous deactivation of catalysts. *RSC Adv.* Vol. 6 p. 108668. DOI: 10.1039/C6RA20450C (in Eng.).
- Cui G., Liu J., Wei M., Feng X., Elsworth D. (2018) Evolution of permeability during the process of shale gas extraction. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* Vol 49 p. 94. DOI: 10.1016/j.jngse.2017.10.018 (in Eng.).
- Degen T.M., Sadki E., Bron U., König G. (2014) The HighScore suite. *Powder Diffr.*, Vol. 29 p. 13. DOI: 10.1017/S0885715614000840. (in Eng.).
- Foppa L., M.C. Silaghi, K. Larmier, A. Comas-Vives (2016) Intrinsic reactivity of Ni, Pd and Pt surfaces in dry reforming and competitive reactions: Insights from first principles calculations and microkinetic modeling simulations, *J. Catal.* Vol. 343 p. 196. DOI:10.1016/j.jcat.2016.02.030(in Eng.).
- Gates-Rector S., T. Blanton (2019) The Powder Diffraction File: a quality materials characterization database. *Powder Diffr.* Vol. 34 p. 352. DOI: 10.1017/S0885715619000812(in Eng.).
- Ghani N.A.A., A. Azapour, A.F.A.S. Muhammad, B. Abdullah (2018) Dry reforming of methane for hydrogen production over Ni Co catalysts: effect of Nb Zr promoters, *Int. J. Hydrog. Energy* p. 20881. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.05.153. (in Eng.).
- Hoehne C.G., Chester M.V. (2017) Greenhouse gas and air quality effects of auto first-last mile use with transit. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* Vol. 53 p. 306. DOI: 10.1016/j.trd.2017.04.030 (in Eng.).
- Jiao F., Pan X., Xiao J., Li H., Ma H., Wei M., Pan Y., Zhou Z., Li M., Miao S., et al. (2016) Selective conversion of syngas to light olefins. *Science* Vol. 351 p. 1065. DOI: 10.1126/science.aaf1835(in Eng.).
- Kwon B.W., Oh J.H., Kim G.S., Yoon S.P., Han J., Nam S.W., Ham H.C.(2018) The novel perovskite type Ni-doped $\text{Sr}_{0.92}\text{Y}_{0.08}\text{TiO}_3$ as a reforming biogas ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) for H_2 production. *Appl. Energy* Vol. 227 p. 213. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.07.105(in Eng.).
- Lau C.S., Tsolakis A., Wyszynski M. (2011) Biogas upgrade to syn-gas (H_2 -CO) via dry and oxidative reforming. *Int. J. Hydrogen Energy* Vol. 36 p. 397. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.09.086(in Eng.).
- Li T., Z. Liang, J. Liu, Y. Zhang, X. Zhang, G. Zhang (2024) *Int. J. Hydrogen Energy* Vol. 61 p. 611. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.302(in Eng.).
- Liu Z., Z. Deng, S.J. Davis, C. Giron, P. Ciais (2022) Monitoring global carbon emissions in 2021, *Nature Reviews: Earth and Env.* Vol. 3 p. 217. DOI: 10.1038/s43017-023-00406-z (in Eng.).
- Németh M., Z. Schay, D. Srankó, J. Károlyi, G. Sáfrán, I. Sajó, A. Horváth (2015) Impregnated Ni/ZrO₂

and Pt/ZrO₂ catalysts in dry reforming of methane: activity tests in excess methane and mechanistic studies with labeled 13 CO₂, *Appl. Catal. A Gen.* Vol. 504 p. 608–620. DOI: 10.1016/j.apcata.2015.04.006 (in Eng.).

Paksoy A.I., B.S. Caglayan, E. Ozensoy, A.N. Ökte, A.E. Aksoylu (2018) The effects of Co/Ce loading ratio and reaction conditions on CDRM performance of Co Ce/ZrO₂ catalysts, *Int. J. Hydrog. Energy* Vol. 43 p. 4321. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.01.009 (in Eng.).

Park J.H., S. Yeo, T.S. Chang (2018) Effect of supports on the performance of Co-based catalysts in methane dry reforming, *J. CO₂ Util.* Vol. 26 p. 465. DOI: 10.1016/j.jcou.2018.06.002 (in Eng.).

Polo-Garzon F., D. Pakhare, J.J. Spivey, D.A. Bruce (2016) Dry reforming of methane on Rh doped pyrochlore catalysts: a steady-state isotopic transient kinetic study, *ACS Catal.* Vol. 6 p. 3826. DOI: 10.1021/acscatal.6b00666 (in Eng.).

Quéllar-Franca, R.M.; Azapagic, A. (2015) Carbon capture, storage and utilization technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts. *J. CO₂ Util.* Vol. 9 p. 82. DOI: 10.1016/j.jcou.2014.12.00 (in Eng.).

Sajjadi S.M., M. Haghighi, F. Rahmani (2014) Dry reforming of greenhouse gases CH₄/CO₂ over MgO-promoted Ni-Co/Al₂O₃-ZrO₂ nanocatalyst: effect of MgO addition via solgel method on catalytic properties and hydrogen yield, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* Vol. 70 p. 111. DOI: 10.1007/s10971-014-3280-1 (in Eng.).

Sheu E.J., Mokheimer E.M., Ghoniem A.F. (2015) A review of solar methane reforming systems. *Int. J. Hydrogen Energy* Vol. 40 p. 12929. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.08.005 (in Eng.).

Song Q., R. Ran, X. Wu, Z. Si, D. Weng (2023) Dry reforming of methane over Ni catalysts supported on micro- and mesoporous silica, *J of CO₂ Utilization* Vol. 68 p. 102387. DOI: 10.1016/j.jcou.2022.102387 (in Eng.).

Vasiliades M.A., P. Djinić, L.F. Davlyatova, A. Pintar, A.M. Efstathiou (2018) Origin and reactivity of active and inactive carbon formed during DRM over Ni/Ce_{0.38}Zr_{0.62}O_{2-δ} studied by transient isotopic techniques, *Catal. Today* Vol. 299 p. 201. DOI: 10.1016/j.cattod.2017.03.057 (in Eng.).

Vieira M.O., Aquino A.S., Schütz M.K., Vecchia F.D., Ligabue R., Seferin M., Einloft S. (2017) Chemical Conversion of CO₂: Evaluation of Different Ionic Liquids as Catalysts in Dimethyl Carbonate Synthesis. *Energy Procedia* Vol. 114 p. 7141. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.1876 (in Eng.).

Zhang Y. (2024) Circular economy innovations: Balancing fossil fuel impact on green economic development, *Heliyon* Vol. 10 p. 36708. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36708 (in Eng.).

Zoundi, Z. (2017) CO₂ emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach. *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 72 p. 1067. DOI: 10.1016/j.rser.2016.10.018 (in Eng.).

CONTENTS

A.A. Anarbayev, B.N. Kabylbekova, J.E. Khusanov, G. M. Ormanova INVESTIGATION OF THE PROCESS OF OBTAINING A COMPLEX PHOSPHOHUMATE MINERAL FERTILIZER.....	5
G.Zh. Baisalova, A.A. Zhanybekova, A.B. Shukirbekova, B.B. Torsykbaeva, Sh.K. Utzhanova QUANTITATIVE DETERMINATION OF FLAVONOIDS IN ULMUS PUMILA LEAVES BY SPECTROPHOTOMETRIC METHOD.....	21
N. Bektenov, G. Koszhanova QUANTUM-CHEMICAL MODEL CALCULATION REVIEW OF VERMICULITE AND ITS BASED MODIFIED SORBENT.....	33
G.M. Zhusipnazarova, R. Reshmy, A.S. Darmenbayeva, Zh.B. Mukazhanova, G.B. Aubakirova PRODUCTION AND STUDY OF PROPERTIES OF BIOLOGICAL COATINGS BASED ON CELLULOSE OBTAINED FROM BARLEY AND FLAX STEMS.....	43
M. Ibrayeva, E. Sagindykova, Zh. Mukazhanova ISOLATION OF IRIDOIDS FROM <i>VERBASCUM MARSCHALLIANUM</i>	57
L.K. Kazhygeldiyeva, B.Kh. Mussabayeva, A.N. Sabitova, L.K. Orazzhanova, A.S. Seitkan DETERMINATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FRUIT EXTRACTS FROM <i>HIPPOPHAE RHAMNOIDES</i> L. AND <i>CRATAEGUS SANGUINEA</i> L.	68
M.B. Kambatyrov, P.A. Abdurazova, U.B. Nazarbek, Y.B. Raiymbekov FTIR SPECTROSCOPIC STUDY OF HUMIC ACIDS PRECIPITATION.....	79
N.B. Kassenova, R. Sh. Erkasov, N.N. Nurmukhanbetova, S.K. Makhanova, G.K. Bekishova THE INVESTIGATION OF SPIN-CROSSOVER IN TETRANUCLEAR IRON (II) COMPLEXES BY MAGNETIC MEASUREMENTS.....	94
B.K. Massalimova, A.S. Darmenbayeva, Zh. Mukazhanova, K.A. Shorayeva, N.V. Ostafeychuk DEVELOPMENT AND STUDY OF CATALYSTS FOR DEHYDROGENATION OF SATURATED HYDROCARBONS TO OLEFINS.....	104

D.N. Makhayeva, Sh. Zhetesbayeva, G.S. Irmukhametova, Z.A. Kenessova PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYMER FILMS BASED ON IODINE COMPLEXED WITH POLY(2-ETHYL-2-OXAZOLINE).....	121
N. Merkhatuliy, S.B. Abeuova, S.K. Zhokizhanova, A. Sviderskiy, S.A. Kairoldin INCLUSION OF AZULENE INTO THE BACKBONE OF CONJUGATED OLIGOMERS: IMPROVEMENT OF PROTON SENSITIVITY AND ELECTRONIC ABSORPTION.....	133
A.N. Nurlybayeva, A.E. Tulegen, K.B. Bulekbayeva, D.A. Kulbayeva, G.K. Matniyazova DETERMINATION OF COAGULATION THRESHOLDS OF MOLYBDENUM-VANADIUM BLUE SOLS.....	144
E.T. Talgatov, A.A. Naizabaev, A.M. Tynyshbay, A.S. Auezkhanova, A.Z. Abilmagzhanov INVESTIGATION OF COMPLEXATION OF RUTHENIUM (III) IONS WITH POLYMERS.....	157
A.A. Tolepbergen, U. Amzeyeva, Ye. Shybyray, A. Baiseitova, J. Jenis PHYTOCHEMICAL PROFILE OF UNDERGROUND PART OF CICHORIUM INTUBYS L.	170
T.S. Khosnutdinova, A.O. Sapieva, N.A. Sultanova, Sh.A. Madieva DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING A FLAVONOID COMPLEX FROM THE AERIAL PART OF <i>FERULA SONGARICA</i> PALL. EX SPRENG. WITH ANTIOXIDANT ACTIVITY.....	183
D.Y. Shoganbek, S.A. Tungatarova, D.Yu. Murzin, T.S. Baizhumanova, M. Zhumabek DRY REFORMING OF METHANE ON Co-La-Al AND Co-Ce-Al CATALYSTS PREPARED BY THE SCS METHOD.....	195

МАЗМҰНЫ

А.А. Анарбаев, Б.Н. Кабылбекова, Ж.Е. Хусанов, Г.М. Орманова КҮРДЕЛІ ФОСФОГУМАТТЫ МИНЕРАЛДЫ ТЫҢАЙТҚЫШ АЛУ ПРОЦЕССИН ЗЕРТТЕУ.....	5
Г.Ж. Байсалова, А.А. Жаныбекова, А.Б. Шукирбекова, Б.Б. Торсыкбаева, Ш.К. Утжанова <i>ULMUS PUMILA</i> ЖАПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ ФЛАВОНОИДТАР МӨЛШЕРІН СПЕКТРОФОТОМЕТРЛІК ӘДІСПЕН АНЫҚТАУ.....	21
Н. Бектенов, Г. Қосжанова ВЕРМИКУЛИТ ЖӘНЕ ОНЫҢ НЕГІЗІНДЕ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН СОРБЕНТТІҢ КВАНТТЫ-ХИМИЯЛЫҚ МОДЕЛІН ЕСЕПТЕУГЕ ШОЛУ.....	33
Г.М. Жүсіпназарова, Р. Решми, А.С. Дарменбаева, Ж.Б. Мукажанова, Г.Б. Аубакирова. АРПА МЕН ЗЫҒЫР САБАҒЫНАН АЛЫНҒАН ЦЕЛЛЮЛОЗА НЕГІЗІНДЕГІ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБЫНДАРДЫҢ ДАЙЫНДАЛУЫ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	43
М. Ибраева, Э. Сагиндыкова, Ж. Мукажанова <i>VERBASCUM MARSCHALLIANUM</i> -НАН ИРИДОИДТАРДЫ БӨЛУ.....	57
Л.К. Қажыгелдиева, Б.Х. Мұсабаева, А.Н. Сабитова, Л.К. Оразжанова, А.С. Сейтқан. <i>HIPPOPHAE RHAMNOIDES</i> L. ЖӘНЕ <i>CRATAEGUS SANGUINEA</i> L. ӨСІМДІК ЖЕМІСТЕРІНІҢ ЭКСТРАКТТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН ЖӘНЕ АНТИОКСИДАНТТЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІН АНЫҚТАУ.....	68
М.Б. Камбатыров, П.А. Абдуразова, У.Б. Назарбек, Е.Б. Райымбеков ГУМИН ҚЫШҚЫЛДАРЫН ТҮНДЫРУ ҮРДІСІН ИҚ-СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	79
Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, Н.Н. Нурмуханбетова, С.К. Маханова, Г.К. Бекишова МАГНИТТІК ӨЛШЕУЛЕР ӘДІСІМЕН ТЕМІРДІҢ (II) ТӨРТЯДРОЛЫ КЕШЕНДЕРІНДЕ СПИН-КРОССОВЕРДІ ЗЕРТТЕУ.....	94

Б.К. Масалимова, А.С. Дарменбаева, Ж.Б. Мукажанова, К.А. Шораева, Н.В. Остафейчук КӨМІРСУТЕКТЕРДІ ОЛЕФИНДЕРГЕ ДЕГИДРЛЕУ ҮШІН КАТАЛИЗАТОРЛАРДЫ ҚҰРУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	104
Д.Н. Махаева, Ш. Жетесбаева, Ғ.С. Ирмухаметова, З.А. Кенесова ЙОДТЫҢ ПОЛИ(2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНМЕН) КЕШЕНІ НЕГІЗІНДЕ ПОЛИМЕРЛІ ҮЛДІРЛЕРДІ АЛУ ЖӘНЕ СИПАТТАУ.....	121
Н. Мерхатұлы, С.Б. Абеуова, С.К. Жокижанова, А. Свидерский, С.А. Қайролдин ҚОСАРЛАНҒАН ОЛИГОМЕРЛЕР НЕГІЗІНЕ АЗУЛЕНДІЕНГІЗУ: ПРОТОНҒА СЕЗІМТАЛДЫҚ ПЕН ЭЛЕКТРОНДЫҚ СІңІРҮДІ ЖАҚСARTU.....	133
А.Н. Нұрлыбаева, А.Е. Төлеген, Қ.Б. Бөлекбаева, Д.А. Құлбаева, Ғ.Қ. Матниязова МОЛИБДЕН-ВАНАДИЙ КӨК ҚОСЫЛЫСЫНЫҢ ҚОЙЫЛУ ШЕКТЕРІН АНЫҚТАУ.....	144
Э.Т. Талғатов, А.А. Найзабаев, А.М. Тынышбай, А.С. Ауезханова, А.З. Абилямагжанов РУТЕНИЙ (III) ИОНДАРЫМЕН ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ КЕШЕН ТҮЗУІН ЗЕРТТЕУ.....	157
А.А. Төлепберген, Ұ. Әмзеева, Е. Шыбырай, А. Байсеитова, Ж. Жеңіс <i>CICHORIUM INTYBUS</i> L. ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР АСТЫ БӨЛІГІНІҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ПРОФИЛІ.....	170
Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сәпиева, Н.А. Сұлтанова, Ш.А. Мадиева АНТИОКСИДАНТТЫҚ БЕЛСЕНДІЛІККЕ ИЕ <i>FERULA SONGARICA</i> PALL. EX SPRENG. ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНЕН ФЛАВОНОИДТЫ КЕШЕНДІ АЛУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ.....	183
Д.Е. Шоғанбек, С.А. Тунгатарова, Д.Ю. Мурзин, Т.С. Байжуманова, М. Жұмабек ЖТС ӘДІСІМЕН ДАЙЫНДАЛҒАН Co-La-Al ЖӘНЕ Co-Ce-Al КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНДА МЕТАНДЫ ҚҰРҒАҚ РИФОРМАЛАУ.....	194

СОДЕРЖАНИЕ

А.А. Анарбаев, Б.Н. Кабылбекова, Ж.Е. Хусанов, Г.М. Орманова ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ФОСФОГУМАТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ.....	5
Г.Ж. Байсалова, А.А. Жаныбекова, А.Б. Шукирбекова, Б.Б. Торсыкбаева, Ш.К. Утжанова КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ULMUS PUMILA СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	21
Н. Бектенов, Г. Косжанова ОБЗОР КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ВЕРМИКУЛИТА И МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЕНТА НА ЕГО ОСНОВЕ.....	33
Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, А.С. Дарменбаева, Ж.Б. Мукажанова, Г.Б. Аубакирова СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ СТЕБЕЛЕЙ ЯЧМЕНЯ И ЛЬНА.....	43
М. Ибраева, Э. Сагиндыкова, Ж. Мукажанова ВЫДЕЛЕНИЕ ИРИДОИДОВ ИЗ VERBASCUM MARSCHALLIANUM.....	57
Л.К. Кажыгелдиева, Б.Х. Мусабаева, А.Н. Сабитова, Л.К. Оразжанова, А.С. Сейткан ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ ПЛОДОВ РАСТЕНИЙ HIPPOPHAE RHAMNOIDES L. И CRATAEGUS SANGUINEA L	68
М.Б. Камбатыров, П.А. Абдуразова, У.Б. Назарбек, Е.Б. Райымбеков ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ.....	79
Н.Б. Касенова, Р.Ш. Еркасов, Н.Н. Нурмуханбетова, С.К. Маханова, Г.К. Бекишова ИССЛЕДОВАНИЕ СПИН-КРОССОВЕРА В ТЕТРАЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЖЕЛЕЗА (II) МЕТОДОМ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	94

Б.К. Масалимова, А.С. Дарменбаева, Ж.Б. Мукажанова, К.А. Шораева, Н.В. Остафейчук РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ДЕГИДРИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ДО ОЛЕФИНОВ.....	104
Д.Н. Махаева, Ш. Жетесбаева, Г.С. Ирмухаметова, З.А. Кенесова ПОЛУЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ЙОДА С ПОЛИ (2-ЭТИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОМ).....	121
Н. Мерхатулы, С.Б. Абеуова, С.К. Жокижанова, А. Свидерский, С.А. Кайролдин ВВЕДЕНИЕ АЗУЛЕНА В ОСНОВУ СОПРЯЖЕННЫХ ОЛИГОМЕРОВ: УЛУЧШЕНИЕ ПРОТОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ЭЛЕКТРОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ.....	133
А.Н. Нурлыбаева, А.Е. Толеген, К.Б. Боекбаева, Д.А. Кульбаева, Г.К. Матниязова ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ КОАГУЛЯЦИИ ЗОЛЕЙ МОЛИБДЕН-ВАНАДИЕВЫХ СИНЕЙ.....	144
Э.Т. Талгатов, А.А. Найзабаев, А.М. Тынышбай, А.С. Ауезханова, А.З. Абиьлмагжанов ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ ИОНОВ РУТЕНИЯ (III) С ПОЛИМЕРАМИ.....	157
А.А. Толепберген, У. Амзеева, Е. Шыбырай, А. Байсеитова, Ж. Женис ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ CICHORIUM INTYBUS L.	170
Т.С. Хоснутдинова, А.О. Сапиева, Н.А. Султанова, Ш.А. Мадиева РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ФЛАВОНОИДНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ НАДЗЕМНОЙ МАССЫ FERULA SONGARICA PALL. EX SPRENG., ОБЛАДАЮЩЕГО АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ.....	183
Д.Е. Шоганбек, С.А. Тунгатарова, Д.Ю. Мурзин, Т.С. Байжуманова, М. Жумабек СУХОЙ РИФОРМИНГ МЕТАНА НА КАТАЛИЗАТОРАХ CO-LA-AL И CO-SE-AL ПРИГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ СВС.....	194

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 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.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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 26.03.2025.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

13,5 п.л. Заказ 1.

*Национальная академия наук РК
050010, Алматы, ул. Шевченко, 28, т. 272-13-19*