

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

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

**№2
2026**

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



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

2 (467)

APRIL – JUNE 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

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

Editorial board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Periodicity: 4 times a year.

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

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

Редакция алқасы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Периодичность: 4 раз в год.

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

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

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

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

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

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

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

МАЗМҰНЫ

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

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

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

©Orazbekova R.S.^{1,2*}, Tungatarova S.A.^{1,2}, Baizhumanova T.S.^{1,2}, Ilyassova O.S.^{1,2},
Kassymkhan K.², 2026.

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

² D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com

STEAM REFORMING OF BIOETHANOL ON A CATALYST SYNTHESIZED BY THE PECHINI METHOD

Orazbekova Raushan — Junior Researcher, Laboratory of Oxidative Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry; Doctoral Student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2704-5148>;

Tungatarova Svetlana — Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Oxidative Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry; Professor, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: tungatarova58@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Baizhumanova Tolkyn — Leading Researcher, Candidate of Chemical Sciences, Laboratory of Oxidative Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry; Associate Professor, al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan,

E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Ilyassova Oral — Engineer, Laboratory of Oxidative Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry; Doctoral Student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: ilyassova.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8609-6378>;

Kassymkhan Kaysar — Researcher, Laboratory of Oxidative Catalysis, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kaysar_007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-0462>

Abstract. This study investigated a catalyst synthesized by the Pechini method for the steam reforming of bioethanol to produce hydrogen. The catalyst was characterized by low-temperature nitrogen adsorption (BET), HAADF-STEM, and EDX spectroscopy, which allowed to determine its textural properties, morphology, and elemental composition. The specific surface area of the sample was 60 m²/g, indicating a developed porous structure and high accessibility of active sites. Catalytic testing showed that increasing the process temperature in the range of 400–800 °C significantly increased hydrogen yield. The maximum hydrogen yield reached 53.7% at 800 °C and a steam/ethanol molar ratio (S/E = 4), which is associated with the intensification of steam reforming reactions, the decomposition of intermediate oxygen-containing compounds,

and the conversion of carbon monoxide via the water-gas reaction. It was found that high-temperature treatment of the catalyst had a positive effect on its activity: after thermal treatment and subsequent cooling to 400°C, ethanol conversion increased from 64.92% to 71.25%, and hydrogen yield increased from 1.11% to 13.54% compared to the initial state at 400°C. These results indicate increased catalyst activity and stability after high-temperature activation, which may be due to changes in the surface condition and increased accessibility of active sites. Thus, the catalyst synthesized by the Pechini method demonstrates high efficiency in the steam reforming of bioethanol and represents a promising material for producing hydrogen from renewable raw materials.

Keywords: catalyst, steam reforming, bioethanol, Pechini method, hydrogen

For citations: Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Ilyassova O.S., Kassymkhan K. Steam reforming of bioethanol on a catalyst synthesized by the pechini method. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No.2. — P. 272-285. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.377>

©Оразбекова Р.С.^{1,2*}, Тунгатарова С.А.^{1,2}, Байжұманова Т.С.^{1,2},
Ильясова О.С.^{1,2}, Қасымқан Қ.², 2026.

¹ Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

² Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com

ПЕЧИНИ ӘДІСІМЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН КАТАЛИЗАТОРДА БУМЕН БИОЭТАНОЛДЫ РЕФОРМИНГТЕУ

Оразбекова Раушан — кіші ғылыми қызметкер, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты; әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2704-5148>;

Тунгатарова Светлана — химия ғылымдарының докторы, тотығу катализі зертханасының меңгерушісі, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты; профессор, әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: tungatarova58@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Байжұманова Толқын — химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты; доцент, әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Ильясова Орал — инженер, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан, E-mail: ilyassova.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8609-6378>;

Қасымхан Қайсар — ғылыми қызметкер, Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: kaysar_007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-0462>.

Аннотация: Бұл зерттеуде сутегі алу үшін Печини әдісімен синтезделген катализаторды биоэтанолдың бу реформингі процесінде зерттеді. Катализатор

төмен температуралы азот адсорбциясы (BET), HAADF-STEM және EDX спектроскопиясымен сипатталды, бұл бізге оның текстуралық қасиеттерін, морфологиясын және элементтік құрамын анықтауға мүмкіндік берді. Үлгінің меншікті бетінің ауданы $60 \text{ м}^2/\text{г}$ құрады, бұл дамыған кеуекті құрылымды және белсенді учаскелерге жоғары қолжетімділікті көрсетеді. Катализдік сынақтар процестің температурасын $400\text{--}800^\circ\text{C}$ диапазонында арттыру сутегі өнімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетті. Сутегінің максималды өнімділігі 800°C температурада $53,7\%$ -ға жетті және бу/этанол молярлық қатынасы ($S/E = 4$), бұл бу риформинг реакцияларының күшеюімен, аралық оттегі құрамдас қосылыстардың ыдырауымен және көміртегі тотығының су-газ реакциясы арқылы түрленуімен байланысты. Катализаторды жоғары температурада өңдеу оның белсенділігіне оң әсер ететіні анықталды: термиялық өңдеуден және кейіннен 400°C дейін салқындатудан кейін этанолдың конверсиясы $64,92\%$ -дан $71,25\%$ -ға дейін өсті, ал сутегінің шығымы 400°C температурадағы бастапқы күймен салыстырғанда $1,11\%$ -дан $13,54\%$ -ға дейін өсті. Бұл нәтижелер жоғары температурада белсендіруден кейін катализатордың белсенділігі мен тұрақтылығының артқанын көрсетеді, бұл беткі жағдайдың өзгеруіне және белсенді учаскелерге қол жетімділіктің артуына байланысты болуы мүмкін. Осылайша, Печини әдісімен синтезделген катализатор биоэтанолды бумен риформингтеудің жоғары тиімділігін көрсетеді және жаңартылатын шикізаттан сутегі алу үшін перспективалы материал болып табылады.

Түйін сөздер: катализатор, бу риформингі, биоэтанол, Печини әдісі, сутегі

© Оразбекова Р.С.^{1,2*}, Тунгатарова С.А.^{1,2}, Байжұманова Т.С.^{1,2},
Ильясова О.С.^{1,2}, Касымқан К.², 2026.

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

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

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com

ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ БИОЭТАНОЛА НА КАТАЛИЗАТОРЕ, СИНТЕЗИРОВАННОМ МЕТОДОМ ПЕЧИНИ

Оразбекова Раушан — младший научный сотрудник Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского; докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: raushanorazbekova14@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2704-5148>;

Тунгатарова Светлана — доктор химических наук, заведующая лабораторией окислительного катализа Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского; профессор Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: tungatarova58@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6005-747X>;

Байжұманова Толкын — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского; доцент Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: baizhuma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9851-2642>;

Ильясова Орал — инженер Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского; докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: ilyassova.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8609-6378>;

Касымхан Кайсар — научный сотрудник Института топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан, E-mail: kaysar_007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5563-0462>.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по гранту AP26198717.

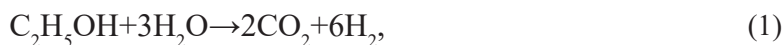
Аннотация: В работе исследован катализатор, синтезированный методом Печини, для процесса парового риформинга биоэтанола с получением водорода. Катализатор охарактеризован методами низкотемпературной адсорбции азота (BET), HAADF-STEM и EDX, что позволило определить его текстурные характеристики, морфологию и элементный состав. Удельная поверхность образца составила 60 м²/г, что свидетельствует о развитой пористой структуре и высокой доступности активных центров. Каталитические испытания показали, что повышение температуры процесса в диапазоне 400–800 °С приводит к существенному увеличению выхода водорода. Максимальный выход водорода достиг 53,7 % при температуре 800 °С и мольном соотношении пар/этанол S/E = 4, что связано с интенсификацией реакций парового риформинга, разложения промежуточных кислородсодержащих соединений и конверсии монооксида углерода по реакции водяного газа. Установлено, что высокотемпературная обработка катализатора положительно влияет на его активность. После термического воздействия и последующего охлаждения до 400 °С конверсия этанола увеличилась с 64,92 до 71,25 %, а выход водорода - с 1,11 до 13,54 % по сравнению с исходным состоянием при 400 °С. Полученные результаты свидетельствуют о повышении активности и стабильности катализатора после высокотемпературной активации, что может быть связано с изменением состояния поверхности и увеличением доступности активных центров. Таким образом, катализатор, синтезированный методом Печини, продемонстрировал высокую эффективность в процессе парового риформинга биоэтанола и представляет собой перспективный материал для получения водорода из возобновляемого сырья.

Ключевые слова: катализатор, паровой риформинг, биоэтанол, метод Печини, водород, BET, HAADF-STEM, EDX

Введение. В связи с быстрым ростом общества и мировой экономики ожидается, что первичные источники энергии, такие как уголь, нефть и природный газ, останутся доминирующим источником энергии (82 %) в течение следующих 15–20 лет (B.P. Stat. Rev., 2022). Зависимость от ископаемого топлива приводит к увеличению CO₂ в атмосфере и истощению ресурсов, что создает экономические риски. Для декарбонизации необходимы возобновляемые источники энергии, такие как ветер и солнечная энергия, а водород выделяется как перспективный вариант из-за своей чистоты и универсальности. Однако традиционные методы

его производства, основанные на природном газе, не являются устойчивыми, что делает этанол из биомассы подходящей альтернативой (Sanchez et al, 2021). Таким образом, этанол может быть получен посредством биопроцессов, таких как ферментация сахаров, полученных из остатков целлюлозы или лигноцеллюлозной биомассы, называемых этанолом второго поколения. Аналогичным образом, этанол может быть получен из остатков биомассы, подвергнутых термохимической обработке или посредством ферментации безводных сахаров, образующихся в процессе пиролиза (Vivek et al, 2022). Производство водорода из биомассы привлекает внимание как перспективный возобновляемый источник энергии, решающий глобальные проблемы, связанные с устойчивой энергетикой. В последние десятилетия его глобальные исследования были сосредоточены на паровой конверсии кислородсодержащих соединений и углеводов (Zhang et al, 2021). Биоэтанол является возобновляемым сырьем для производства водорода из-за его высокой концентрации водорода, доступности, нетоксичности, хранения, простоты обращения и безопасности. Его легко производить из возобновляемой биомассы.

Литературный обзор. В последние десятилетия мировое производство биоэтанола значительно увеличилось (Renewables, 2025). Биоэтанол может использоваться в качестве сырья для паровой конверсии этанола с целью получения водорода. Реакция паровой конверсии биоэтанола представлена в стехиометрическом виде следующим образом:



Паровый риформинг биоэтанола сопровождается некоторыми побочными реакциями, включая разложение этанола, дегидратацию, дегидрирование, гидрогенолиз и альдольную конденсацию. Другие возможные реакции включают паровую конверсию ацетальдегида, ацетона и метана, а также разложение метана, метанирование. Кроме того, могут присутствовать реакция конверсии водяного газа и реакции, приводящие к образованию углеродных отложений (Gaudillere et al, 2017)



К числу обычно используемых активных металлов в катализаторах парового риформинга биоэтанола относятся благородные металлы (Pt, Pd, Rh и Ir) и переходные металлы (Cu, Co и Ni), а также биметаллы (Sharma et al, 2016; Jia

et al, 2019). Обычно они наносятся на подложки из оксидов металлов, таких как Al_2O_3 , SiO_2 , CeO_2 , ZrO_2 и La_2O_3 (Amir et al, 2025; Grzybek et al, 2024). В качестве субстрата или активного компонента также изучались шпинельные (AB_2O_4) и перовскитные (ABO_3) оксиды, такие как NiAl_2O_4 , LaAlO_3 и $\text{BaZr}_{0.1}\text{Ce}_{0.7}\text{Y}_{0.1}\text{Yb}_{0.1}\text{O}_{3-d}$ (Li et al, 2019). Учитывая стоимость, в качестве активных элементов обычно предпочтение отдается благородным металлам, таким как Ni, Co и Fe; однако они подвержены деактивации, вызванной спеканием и осаждением углерода, особенно те, которые содержат Ni (Isarapakdeetham et al, 2020). Использование перовскитов в качестве подложки позволяет в некоторой степени избежать этих проблем, а активные металлические частицы, выделяемые *in situ* из перовскитов с дефицитом А-сайта в восстановительной атмосфере, демонстрируют повышенную устойчивость к спеканию и осаждению углерода (Ruan et al, 2025). В настоящем исследовании катализатор был синтезирован методом Печини и охарактеризован с использованием комплекса физико-химических методов анализа.

Материалы и основные методы. В работе в качестве сырья применяли биоэтанол, полученный путем переработки отходов пшеницы на заводе «Bio Operations» (Тайынша, Казахстан). Производимая продукция сертифицирована по международным стандартам и по соответствию с данными паспорта качества содержание этилового спирта в образце составляло 99,98 об. %. Перед проведением экспериментов биоэтанол смешивали с деионизированной водой, варьируя соотношение компонентов по объемному количеству $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ (1:1, 3:1, 1:3, 1:4).

Катализаторы были синтезированы методом Печини. В качестве реагентов для синтеза катализаторов использовались нитраты металлов: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. Весь процесс проводился при непрерывном перемешивании. Лимонную кислоту растворяли в этиленгликоле при 60–80 °C, охлаждали до комнатной температуры и добавляли необходимое количество кристаллических нитратов металлов. После полного растворения солей по каплям добавляли этилендиамин для дальнейшей полимеризации органической смеси. После полного гомогенизирования в течение 2 часов полученную смесь нагревали на плите до 200 °C и медленно выпаривали для получения густого полимера с последующим разложением на твердую угольную массу, которую измельчали в ступке и прокаливали на воздухе при 700 °C в течение 2 часов. Молярное соотношение реагентов составляло: лимонная кислота: этиленгликоль: этилендиамин: $\Sigma\text{металлы}$ = 3,75:11,25:3,75:1.

Удельную площадь поверхности образцов определяли методом Бруннауэра–Эммета–Теллера (БЭТ) путем регистрации физической адсорбции азота при температуре жидкого азота с использованием автоматизированного объемного адсорбционного блока ASAP-2400 (Micromeritics Instrument. Corp., Норкросс, Джорджия, США). Перед анализом образцы дегазировали при 150 °C в течение 4 часов при давлении 1×10^{-3} Торр (~0,1 Па). Полученные изотермы адсорбции использовали для расчета удельной площади поверхности.

Изображения образцов, полученные с помощью сканирующей просвечивающей

электронной микроскопии с высокоугловым кольцевым темнопольным детектором (HAADF-STEM) и просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM), были получены с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2200FS (JEOL Ltd., Япония, ускоряющее напряжение 200 кВ, разрешение решетки 1 Å), оснащенного корректором Cs и спектрометром EDX (JEOL Ltd., Токио, Япония). Минимальный диаметр пятна для пошагового линейного или картирующего элементного EDX-анализа составлял ~1 нм с шагом около 1,5 нм. Идентификация полученных фаз и количественные расчеты проводились с использованием базы данных ICDD.

Исследование каталитической активности синтезированных катализаторов методом Печини проводилось в каталитической проточной установке (ПКУ-1). Катализатор был загружен в кварцевый реактор диаметром 20 мм и длиной 410 см. Определение каталитической активности проводилось в диапазоне температур 400–800 °C с шагом 100 °C. Общий расход газовой смеси поддерживался на уровне 100 мл/мин, при этом подача сырья осуществлялась со скоростью 0,1 мл/мин. При каждой исследуемой температуре образцы выдерживались в потоке реагирующих компонентов в течение 10 мин, после чего выполнялся онлайн-газохроматографический анализ продуктов реакции. После повышения температуры реакционной среды аналитическая процедура повторялась аналогичным образом. Анализ жидких продуктов реакции осуществлялся методом газовой хроматографии на приборе Agilent Technologies 6890N, оснащенный пламенно-ионизационным детектором, с использованием методики определения кислородсодержащих соединений (оксигенатов).

Конверсия этанола $X(\text{EtOH})$, % и выход водорода $Y(\text{H}_2)$, % были рассчитаны по формулам:

$$X_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{F_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{\text{вход}}} - F_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{\text{выход}}}}{F_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{\text{вход}}}} * 100\% \quad (6)$$

$$Y(\text{H}_2) = \frac{F_{\text{H}_2}}{F_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{\text{вход}}}} * 100\% \quad (7)$$

Результаты. Катализатор, синтезированный методом Печини, был охарактеризован методом низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ) для определения удельной площади поверхности, а также методами сканирующей просвечивающей электронной микроскопии с высокоугловым кольцевым темнопольным детектором (HAADF-STEM) и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (EDX) для исследования морфологии, структуры и элементного состава образцов.

HAADF-STEM-изображение (Рисунок 1) свидетельствует о формировании развитой агрегированной структуры, состоящей из наночастиц неправильной формы с размерами порядка нескольких десятков нанометров. Элементное картирование показывает относительно равномерное распределение Mg, Al,

La и Pr по объему катализатора, что указывает на успешное формирование многокомпонентной оксидной матрицы. Переходные металлы Fe, Ni, Co и Mn также присутствуют в образце, однако их распределение менее однородно. На картах Ni и Co наблюдаются локальные области повышенной интенсивности, свидетельствующие о частичной агломерации или образовании отдельных металлических (оксидных) частиц. Спектр EDX подтверждает наличие всех целевых элементов в составе катализатора.

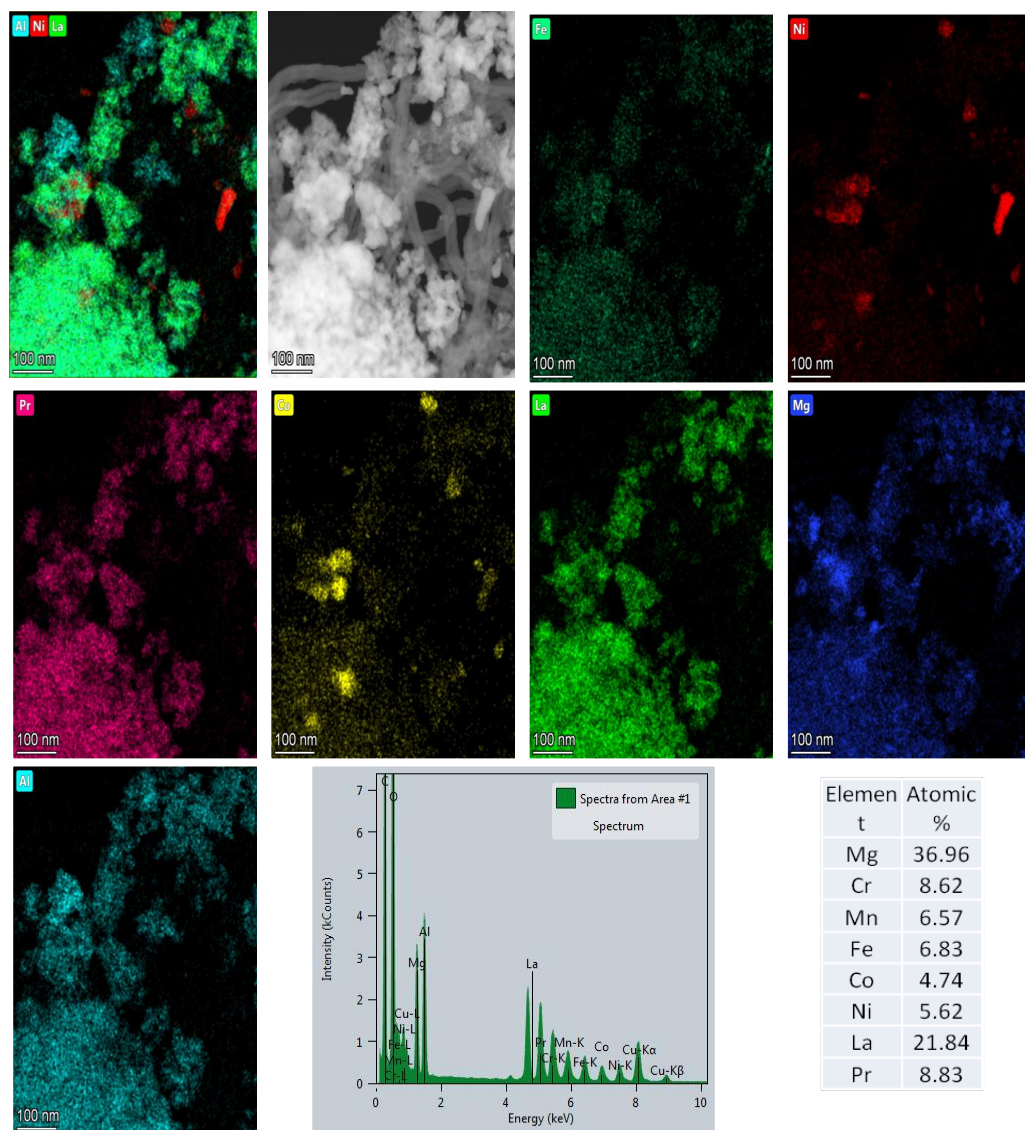


Рисунок 1 — HAADF-STEM изображение с EDX анализом синтезированного катализатора методом Печини

Количественный EDX-анализ показал, что основными компонентами катализатора являются Mg (36,96 ат. %) и La (21,84 ат. %), тогда как содержание Pr составляет 8,83 ат. %, Cr – 8,62 ат. %, Fe – 6,83 ат. %, Mn – 6,57 ат. %, Ni – 5,62 ат. % и Co – 4,74 ат. %. Полученные результаты свидетельствуют о формировании многокомпонентной каталитической системы с преимущественно однородным распределением редкоземельных элементов и магний-алюминатной матрицы, в которой активные компоненты (Ni, Co, Fe и Mn) диспергированы в виде мелких частиц с отдельными локальными областями обогащения.

На рисунке 2 представлена изотерма адсорбции-десорбции азота катализатора синтезированного методом Печини. Согласно классификации IUPAC, изотерма относится к IV типу и характеризуется наличием петли гистерезиса в области относительных давлений $P/P_0 = 0,5–1,0$, что указывает на преобладание мезопористой структуры. Постепенное увеличение объема адсорбированного азота при низких значениях P/P_0 свидетельствует о наличии микропор и мономолекулярно-многослойной адсорбции, тогда как резкий рост адсорбции при высоких относительных давлениях обусловлен капиллярной конденсацией в мезопорах. Наличие выраженной петли гистерезиса свидетельствует о неоднородности пористой структуры и наличии межчастичных пор, что способствует улучшению массопереноса реагентов и продуктов реакции в каталитических процессах.

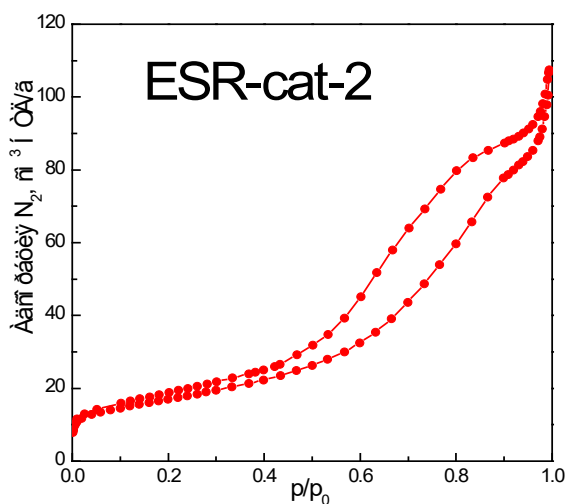


Рисунок 2 — N_2 изотерма адсорбции/десорбции синтезированного катализатора методом Печини

Согласно данным таблицы 1, синтезированный методом Печини катализатор характеризуется развитой пористой структурой и достаточно высокой удельной поверхностью. В структуре материала преобладают микропоры, при этом размер пор соответствует мезопористому диапазону. Полученные текстурные характеристики свидетельствуют о формировании развитой поверхности и

благоприятной пористой структуры, обеспечивающих эффективный массоперенос реагентов и доступ к активным центрам катализатора, что является важным фактором для проявления его каталитической активности.

Таблица 1 — Текстуальные параметры синтезированного катализатора методом Печини

Образец	Площадь поверхности ($\text{м}^2\text{г}^{-1}$)	Объем пор ($\text{см}^3\text{г}^{-1}$)	Объем микропор ($\text{см}^3\text{г}^{-1}$)	Диаметр пор (нм)
Катализатор, синтезированный методом Печини	60	0.17	0.14	6-10

На рисунке 3 представлено распределение пор по размерам для катализатора, синтезированного методом Печини, рассчитанное по данным адсорбции-десорбции азота. Кривая характеризуется наличием выраженного максимума в области 6–8 нм, что свидетельствует о преобладании мезопористой структуры. Максимум распределения для ветви адсорбции наблюдается при диаметре пор около 7 нм, тогда как для ветви десорбции максимум смещен в область больших размеров пор и составляет около 8–10 нм. Наличие гистерезиса между ветвями адсорбции и десорбции указывает на неоднородность пористой структуры и наличие межчастичных мезопор. Полученные результаты свидетельствуют о формировании развитой мезопористой структуры, способствующей эффективной диффузии реагентов и продуктов реакции, что является важным фактором для каталитических процессов.

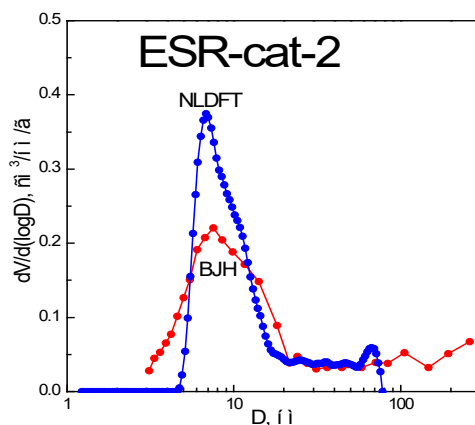


Рисунок 3 — Кривая распределения пор по размерам для катализатора, синтезированного методом Печини, рассчитанная по методу NLDFT

Обсуждение

Для оценки каталитической активности синтезированного катализатора были проведены исследования процесса парового риформинга биоэтанола в температурном диапазоне от 400 до 800 °С. Процесс парового риформинга биоэтанола наблюдалось образование как газообразных продуктов, включавших

водород, монооксид углерода, диоксид углерода и метан, так и промежуточных жидких продуктов. Среди последних наиболее характерными являлись ацетальдегид, ацетон и непрореагировавший этанол.

Анализ состава жидкой фазы показал, что при температуре 400 °С конденсат содержал 83,1 мас.% воды и 16,9 мас.% органической фазы. В составе органической фазы были обнаружены ацетальдегид, ацетон и непрореагировавший этанол в количествах 0,0033, 0,164 и 20,71 об.%, соответственно. Наличие значительного количества остаточного этанола свидетельствует о недостаточной степени его превращения при данной температуре. Одновременно протекает реакция дегидрирования этанола, приводящая к образованию ацетальдегида:



Наличие ацетона в составе продуктов реакции свидетельствовало о протекании вторичных превращений промежуточных кислородсодержащих соединений. Таким образом, было установлено, что при 400 °С наряду с паровым риформингом значительный вклад в процесс конверсии биоэтанола вносили реакции дегидрирования и частичного разложения этанола, что обуславливало образование промежуточных кислородсодержащих продуктов.

При повышении температуры до 500 °С наблюдалось значительное уменьшение содержания органической фазы до 0,6 мас.%, тогда как содержание воды увеличивалось до 99,4 мас.%. Ацетальдегид и остаточный этанол в жидких продуктах не обнаруживались, однако в конденсате присутствовал ацетон в концентрации 0,698 об.%. Вероятно, при данной температуре происходило дальнейшее превращение ацетальдегида, сопровождающееся образованием ацетона, тогда как степень конверсии этанола существенно возрастает. Кроме того, в данном температурном интервале наблюдалось образование этилена вследствие реакции дегидратации этанола. Образование этилена является нежелательным процессом, поскольку может приводить к формированию углеродистых отложений на поверхности катализатора. При температуре 600 °С конденсат практически полностью состоял из воды (100 мас.%), а содержание органической фазы стремилось к нулю. В жидких продуктах ацетальдегид и непрореагировавший этанол не обнаруживались, тогда как концентрация ацетона снижалась до 0,011 об.%. Существенное уменьшение содержания органических соединений указывает на интенсификацию процессов парового риформинга и более глубокое превращение промежуточных продуктов в газообразные компоненты. При дальнейшем повышении температуры до 700 и 800 °С жидкие органические продукты полностью отсутствовали. Конденсат состоял исключительно из воды, а ацетальдегид, ацетон и этанол не регистрировались. Отсутствие жидких органических соединений указывало на практически полную конверсию этанола и промежуточных кислородсодержащих соединений в газообразные продукты. В исследуемом температурном диапазоне процессы парового риформинга протекали с высокой интенсивностью, что сопровождалось увеличением выхода водорода.

Одновременно было отмечено повышение содержания монооксида углерода, диоксида углерода и метана, что было связано с протеканием реакций разрыва связи C–C, конверсии водяного газа и вторичных реакций метанирования.

На рисунке 4 представлена конверсия этанола после проведения высокотемпературной обработки и последующего охлаждения реактора до 400 °С. Установлено, что содержание воды в конденсате увеличилось до 90,6 мас.%, тогда как доля органической фазы уменьшилась до 9,4 мас.%. В составе органической фазы были обнаружены ацетальдегид, ацетон и остаточный этанол в концентрациях 0,013, 0,098 и 11,49 об.%, соответственно. По сравнению с первоначальным состоянием при 400 °С содержание непрореагировавшего этанола снизилось с 20,71 до 11,49 об.%, что свидетельствует о повышении конверсии этанола и активности катализатора после высокотемпературного воздействия. Вероятно, это связано с увеличением количества доступных активных центров и частичным удалением углеродистых отложений с поверхности катализатора.

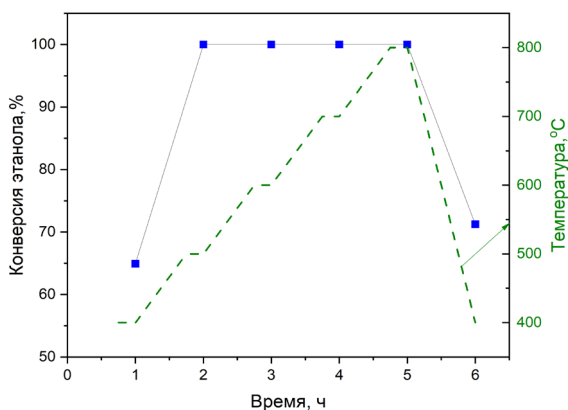


Рисунок 4 — Температурные зависимости конверсии этанола на катализаторе синтезированным методом Печини, S/E=4

Таким образом, полученные результаты показали, что повышение температуры оказывало существенное влияние на состав жидких продуктов парового риформинга биоэтанола. В области низких температур фиксировалось образование промежуточных кислородсодержащих соединений и сохранялось значительное количество непрореагировавшего этанола. При повышении температуры до 700–800 °С жидкие органические продукты в составе реакционной смеси не обнаруживались, что указывало на высокую степень конверсии исходного сырья и эффективное протекание процесса парового риформинга биоэтанола.

На рисунке 5 представлена зависимость выхода водорода от температуры в процессе парового риформинга биоэтанола. Установлено, что с повышением температуры выход водорода постепенно возрастает. При 400 °С выход водорода составлял 1,11 %, при 500 °С увеличивался до 10,57 %, а при 600 °С достигал 20,41 %. Дальнейшее повышение температуры до 700 °С способствовало увеличению выхода водорода до 42,61 %, тогда как максимальное значение

53,73 % было достигнуто при 800 °С. Полученные результаты свидетельствуют о том, что высокие температуры способствуют интенсификации реакций парового риформинга и более глубокой конверсии этанола. После проведения высокотемпературной обработки и последующего охлаждения реактора до 400 °С выход водорода составил 13,54 %, что значительно превышает первоначальное значение при 400 °С (1,11 %). Это может быть связано с повышением активности катализатора и более эффективным протеканием реакций парового риформинга после высокотемпературного воздействия.

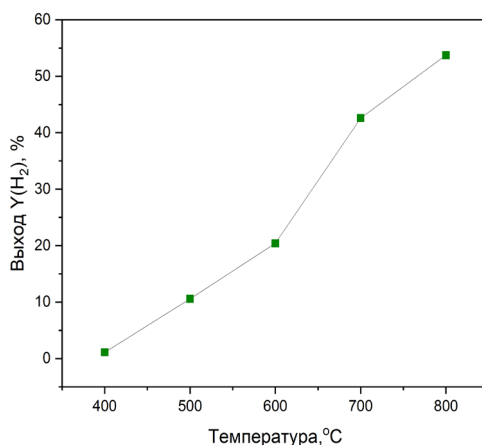


Рисунок 5 — Температурные зависимости выхода H_2 на катализаторе синтезированным методом Печини, S/E=4.

Закключение. В данной работе была исследована активность катализатора, приготовленного методом Печини, в процессе превращения биоэтанола в водород. Методом Печини были получены высокодисперсные оксидные материалы с однородным распределением активных компонентов и развитой поверхностью, что способствовало повышению каталитической активности и устойчивости к закоксуыванию. Было изучено влияние температуры в диапазоне 400–800 °С на выход водорода, а также влияние циклического изменения температуры от 400 до 800 °С с последующим охлаждением до 400 °С на конверсию этанола. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что повышение температуры сопровождалось увеличением степени превращения этанола и выхода водорода. Полученные результаты свидетельствовали о том, что вследствие эндотермического характера реакций парового риформинга их протекание интенсифицировалось при повышении температуры. При паровом риформинге биоэтанола было обнаружено, что максимальный выход водорода составил 53,7 % при температуре 800 °С и мольном соотношении пар/этанол (S/E) = 4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что высокая температура способствует более полному протеканию реакций разложения промежуточных соединений и конверсии монооксида углерода по реакции водяного газа, что приводит к увеличению содержания водорода в продуктах реакции. Кроме того,

было установлено, что после проведения высокотемпературной обработки и последующего охлаждения реакционной системы до 400 °С конверсия этанола увеличилась с 64,92 % до 71,25 %. Вероятно, это связано с изменением состояния поверхности катализатора, повышением доступности активных центров и удалением части углеродистых отложений, образующихся в процессе реакции. Таким образом, температурное воздействие оказывает существенное влияние не только на выход водорода, но и на каталитические свойства материала.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования катализаторов, синтезированных методом Печини, для процесса парового риформинга биоэтанола. Высокая активность катализатора и возможность получения значительного количества водорода делают данный процесс перспективным для применения в водородной энергетике, топливных элементах и технологиях хранения энергии. Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение селективности по водороду, снижение образования углеродистых отложений и увеличение долговременной стабильности катализатора.

References

- Amir Baig, Sagar Dhanuskar, Lovjeet Singh, Sonal Shrivastava. Highly stable coke-resistant ethanol reforming over Ni–La catalyst: Effect of support (2025) *International Journal of Hydrogen Energy* 152. — 150145 p. (in English).
- B.P. Statistical Review, Rep. Statistical Review of World Energy Glob. Consistent Data World Energy Mark. 60 (2022). (in English)
- Gaudillere C, Gonzalez JJ, Chica A, Serra JM. YSZ monoliths promoted with Co as catalysts for the production of H₂ by steam reforming of ethanol (2017). *Appl Catal*, A 538. — P. 165-173 (in English).
- Grzybek G., Olga W., Magdalena R., Paweł S., Piotr L., Magdalena G., Grzegorz S., Marek R., Andrzej K. (2024) Developing Alumina-Based Cobalt Catalyst for Efficient Hydrogen Production via the Ethanol Steam Reforming Process. *Catalysis Today*: 439 (in English).
- Isarapakdeetham S., Kim-Lohsoontorn P., Wongsakulphasatch S., Kiatkittipong W., Laosiripojana N., Gong J., Assabumrungrat S., (2020) Hydrogen production via chemical looping steam reforming of ethanol by Ni-based oxygen carriers supported on CeO₂ and La₂O₃ promoted Al₂O₃, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45. — P. 1477-1491 (in English).
- Jia H, Zhang J, Yu J, Yang X, Sheng X, Xu H. Efficient H₂ production via membrane-assisted ethanol steam reforming over Ir/CeO₂ catalyst. (2019) *International Journal Hydrogen Energy* 44. — P. 24733-24745 (in English).
- Li N, Pu J, Chi B, Li J. Ethanol steam reforming with a Ni- BaZr_{0.1}Ce_{0.7}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_{3-d} catalyst (2019) *Mater Today Energy* 12. — P. 371-378 (in English).
- Renewables - energy system - IEA 2023 (2025) <https://www.iea.org/energy-system/renewables>. (in English)
- Ruan C., Dou B., Chen N., Zhang H. (2025) Hydrogen Production from Ethanol Steam Reforming by Stable LaNi_xCu_{1-x}O_{3-λ} Perovskite-Type Catalysts. *Catalysts*: 15(1), 9 (in English)
- Sanchez N.; Rodríguez Fontalvo D.; Cifuentes B.; Cantillo N.M.; Uribe Laverde M.Á.; Cobo M. (2021) Biomass Potential for Producing Power via Green Hydrogen. *Energies*, 14, 8366. (in English)
- Sharma PK, Saxena N, Roy PK, Bhatt A. Hydrogen generation by ethanol steam reforming over Rh/Al₂O₃ and Rh/CeZrO₂ catalysts: a comparative study. (2016) *International Journal Hydrogen Energy* 41, 6123-6133. (in English).
- Vivek N., Sanjay N., Vivek V. R., J. Zhang, Kumar P., Amit B., Mukesh K., Ashok P., Vinod K. (2022) Process optimization for recycling of bread waste into bioethanol and biomethane: A circular economy approach. *Energy Conversion and Management*: 266. — 115784 p. (in English)
- Zhang X., Zhang M., Deng Y. et al. A stable low-temperature H₂-production catalyst by crowding Pt on α-MoC. (2021) *Nature* 589. — P. 396–401 (in English)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: June 30, 2026

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