

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3
2026**

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

2026 • 3



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

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:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, 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>

RAMAZANOV Tlekkaul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (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 № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, 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>

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГІНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея Биология және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIIBV), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанотехнология материалдары зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

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/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (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 05.06.2025 ж. берген № KZ93VPY00121157 Куәлік.

Тақырыптық бағыты: физика, химия.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3Cp%3Ehttps://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АДЕКЕНОВ Сергезы Мынжасарович, 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>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэжон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

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/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағәевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

АБИЛМАТЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

Свидетельство № KZ93VPY00121157 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 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

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

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

CONTENTS

PHYSICS

Aliuly A., Kaltayev A.

Aliuly A., Kaltayev A. Assessment of the Applicability of Similarity Laws for Centrifugal Pump Scaling Based on Hydrodynamic Modeling.....14

Baratov A.G., Sailaubek A., Serik A.S.

Synthesis and Investigation of a Narrow-Bandgap SrTaO₂N-Based Photocatalyst.....33

Nurbayev B., Dmitriyeva E., Kemelbekova A.

Modern Methods of Selective Lithium Leaching from Spent Lithium-Ion Batteries.....45

Seitov A., Amanzholov T.

Comparative Analysis of One-Dimensional Physical-Hydrodynamic Models of Centrifugal Flow in an Impeller for Mineralized Media.....60

Syzdykova A.M., Serikbayev N.S., Kutum B.B.

Local Kodama-Type Transformations and Integrability Limits of the Extended Fifth-Order Korteweg-de Vries Equation.....83

Ualikhanova U.A., Ussipkyzy T., Altayeva G.S., Razina O.V.

Calculation of the Screened $f(T)$ Gravity Model.....101

Zhadyranova A.A., Tsyba P.Yu., Ismail U.K., Yerzhan B.

Divergence-Free Deceleration Parameter, Kinematic Constraints from DESI DR2 and Cosmic Chronometers.....123

Zhenishan K., Bekov S.S., Syzdykova A.M.

The Influence of Gaussian Process Parameters on Reconstructing the Hubble Constant.....146

CHEMISTRY

Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M., Dauletiyarov M.

Research of the Firing Processes and Whiteness of White Cement Clinkers.....155

Baisalova G.Zh., Bauyrzhanova G.B., Niyaz G.A., Taltenov A.A., Ainabayev A.A.

Study of the Chemical Composition of Ethanol Extracts of Lady's Mantle by Gas Chromatography-Mass Spectrometry.....169

Bishimbaev V.K., Kapsalyamov B.A.

Hydrogeochemical Indicators of Sulfuric-Acid Uranium Leaching Impact on Groundwater in Shieli and Zhanakorgan Districts.....183

Darmenbayeva A.S., Aubakirova R.A. Nurgaliyeva D.A., Abylkassova G.E., Abilmazhinova G.A.

Structural and Morphological Features of Polymer-Metal Functional Materials.....205

Dyusebaeva M.A., Berganayeva A.E., Ibragimova N.A., Utaraliev D.M., Berganayeva G.E.

Green synthesis of silver nanoparticles using the n-butanol fraction of Galega officinalis L.....223

Dyussembekova S.B., Utarova D.A., Kuspanov Zh.B., Daulbayev Ch.B., Abdikarimova U.A. Investigation of the Effect of SrTiO ₃ Heat Treatment on the Photocatalytic Efficiency of the \	
Decomposition of an Amphoteric Antibiotic.....	239
Issayeva U.B., Akhmetova G.S., Praliyev K.D., Malmakova A.E., Seilkhanov T.M. 1-Benzyl-4-(p-Fluorobenzoyloxyimino)Piperidine Hydrochloride as a Candidate for	
an Anti-Infective Agent.....	252
Kamunur K., Yskak M., Mussapyrova L. Effect of Chemical Modification of Sodium Lignosulfonate on Flotation Properties in the	
Barite – Calcite System.....	264
Kononov A., Kamunur K., Mussapyrova L., Assylkhanova D., Batkal A. Obtaining and Studying the Inorganic Flocculant Al–Fe–Mn Based on Modified Bentonite.....	276
Kurmangaliyeva A.1, Akhmetova F.2, Kareshova Zh.1, Iskakov R. PDMA-Modified Tagan Bentonite for Hydrogen Production in Catalytic Conversion	
of Hydrocarbons.....	292
Kurtebayeva A.A., Silvia Álvarez-Torrellas., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Kalmakhanova M.S. Corn-Cob-Derived Fe-Modified Activated Carbons for Paracetamol and Sulfamethoxazole	
Removal by Adsorption and Oxidative Treatment.....	307
Nadirov R.K., Nurtazina N.D., Ryskaliyeva R.G. Response Surface Modelling and Optimisation of Ilmenite Flotation Using a Modified	
Lignosulphonate Reagent.....	334
Nefedov A.N., Taikenova A.T., Imashev B.K., Nurislamov R.M., Leontyeva X. Quantum Computing in the Modeling of Corrosion Processes.....	350
Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Kabiyeva S.K., Zhaslan R.K. Synthesis and Structural Study of 3,5-Dimethylisoxazole Sulfone Derivatives with Secondary	
Amines.....	365
Orazbekova R.S., Tungatarova S.A., Baizhumanova T.S., Kaumenova G.B., Zhumabek M. Influence of Reaction Mixture Composition in Steam Reforming of Bioethanol on a High-Entropy	
Oxide Catalyst.....	382
Ryskaliyeva R.G., L.K. Beisembayeva, Osserov T.B. Hydrocyclone Classification of Balkhash Processing Plant Tailings.....	398
Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Kenzin E.N., Zhurinov M. Formation and Maturation of Phosphate Coatings on Steel from an Alcohol-Based	
Phosphating Solution.....	418
Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Balkembay A.S., Sarova N.B., Zhaltyrbayeva N.K. Effect of Electrolyte Formulation on the Characteristics of Zinc-Based	
Electroplated Coatings.....	435
Seitkaliyeva N., Kussainova G., Zhursumbayeva M., Mohamad Ibrahim M.N., Abdiyev K. Study of the Flocculation Properties of Itaconic Acid-Based Copolymers.....	448

Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Ostretsova I.B., Kamze A.R., Kassenova N.B. Comprehensive Assessment of Natural Drinking Water Quality and Statistical Analysis of Physicochemical Parameters.....	460
Talgatkyzy A., Nazhipkyzy M., Otenov A., Seitkazinova A., Issanbekova A. Wood Waste-Derived Organosolv Lignin-Based Carbon Nanofibers For Energy Storage Applications.....	475
Toktabayeva A.K., Makhayeva D.N., Rakhmetullayeva R.K., Rvaidarova G.O., Issenova G.D. Synthesis, Structure, and Physicochemical Properties of Sulfur-Containing Composites Based on Aniline, p-Phenylenediamine, Phenol, and Formaldehyde.....	498
Yeshmanova G.B., Smagulov D.U. Effect of Silicon-Based Particles on the Formation and Composition of PEO Coatings.....	517
Zhortarova A.A., Kubicek V., Ibrayev M.K., Panshina S.Y., Seidakhmetova R.B. N-Phosphorylation of Amino-thiazoles and Amino-Thiadiazoles with P(III)- and P(V)-Reagents: Synthesis, Structure, and Biological Activity.....	538
Zhussupova A., Tyumentseva O., Antonyuk V. Comparative Study of the Kinetics and Energy Characteristics of Planetary Milling of Copper Smelting Dump Slag and Granulated Lead-Smelting Slag.....	552

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Гидродинамикалық модельдеу негізінде ортадан тепкіш сорғыларды масштабтауда ұқсастық заңдарының қолданылуын бағалау.....14

Баратов А.Ғ., Сайлаубек А., Серік А.С.

SrTaO_2N негізіндегі тар тыйым салынған аймақты фотокатализаторды алу және зерттеу.....33

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.

Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторлардан литийді селективті шаймалаудың заманауи әдістері.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Минералданған орталарға арналған жұмыс дөңгелегіндегі ортадан тепкіш ағыстың бірөлшемді физикалық–гидродинамикалық модельдерін салыстырмалы талдау.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Кенетейлген бесінші ретті Кортевег-де Фриз тендеуінің локалды кодам типті түрлендіруі мен интегралдану шектері.....83

Уалиханова У.А., Үсіпқызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.

Экрандалған $f(T)$ – гравитация моделінің есебі.....101

Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил Ү.Қ., Ержан Б.

Дивергенциясыз бәсеңдеу параметрі, DESI DR2 және космикалық хронометрлер деректері бойынша кинематикалық шектеулер.....123

Жеңіскан Қ., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Хаббл тұрақтысын реконструкциялауға Гаусстық процестер параметрлерінің әсері.....146

ХИМИЯ

Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтүреев М., Даулетияров М.

Ақ цемент клинкерлерінің күйдіру процестерін және ақтығын зерттеу.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Газ хроматография-масс-спектрометрия әдісімен кәдімгі теңгежапырақ өсімдігінің этанолды сығындыларының химиялық құрамын зерттеу.....169

Бишимбаев В.К., Капсаямов Б.А.

Шиелі және Жаңақорған аудандарындағы уранды күкірт қышқылымен шаймалаудың жер асты суларына әсерінің гидрогеохимиялық көрсеткіштері.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нурғалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абильмажинова Г.А.

Полимер-металл функционалдық материалдардың құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктері.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е.

Galega officinalis L. өсімдігінің N-бутанолдық фракциясы арқылы күміс нанобөлшектерін жасыл синтездеу.....223

Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Құспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Әбдікәрімова Ұ.Ә. Термиялық өңделген SrTiO ₃ фотокатализаторларының екідайлы антибиотикті тиімді ыдыратуын зерттеу.....	239
Исаева Ұ.Б., Ахметова Г.С., Пірәлиев Қ.Ж., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Жұқпалы ауруларға қарсы кандидат ретінде 1-бензил-4-(П-фторбензоилоксиимино) пиперидин гидрохлориді.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мусапирова Л. Барит–кальцит жүйесіндегі натрий лигносульфонатының флотациялық қасиеттеріне химиялық модификацияның әсері.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мусапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Модификацияланған бентонит негізіндегі Al–Fe–Mn бейорганикалық флокулянт алу және зерттеу.....	276
Қурманғалиева А.1, Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. Көмірсутектердің каталитикалық конверсиясы арқылы сутек алуға арналған ПДМА-модификацияланған таған бентониті.....	292
Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., Калмаханова М.С. Жүгері собықтарынан алынған темірмен модификацияланған белсендірілген көмірлермен парацетамол мен сульфаметоксазолды адсорбциялық-тотығу жолымен жою.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Модификацияланған лигносульфонатты реагентті қолдану арқылы ильменит флотациясының жауап бетін модельдеу және оңтайландыру.....	334
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Коррозиялық процестерді модельдеудегі кванттық есептеулер.....	350
Нүркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Қабиева С.Қ., Жаслан Р.К. Екіншілік аминдермен 3,5-диметилизоксазолдың сульфотуындыларын синтездеу және құрылымдық зерттеу.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Жоғары энтропиялық оксид катализаторы қатысында биоэтанолдың бу риформингісіне реакциялық қоспа құрамының әсері.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Балқаш байыту фабрикасының байыту қалдықтарын гидроциклондық классификациялау.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Жұрынов М. Спирт негізіндегі фосфаттау ерітіндісінен болат бетінде фосфатты жабындардың қалыптасуы және жетілуі.....	418
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Мырыш негізіндегі гальваникалық қаптамалардың қасиеттеріне электролит құрамының әсері.....	435

Сейтқалиева Н., Құсаинова Г., Жүрсімбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Әбдиев Қ. Итакон қышылы негізіндегі сополимерлердің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу.....	448
Сергазина С.М., Нұрмұханбетова Н.Н., Острцова И.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Табиғи ауыз су сапасын кешенді бағалау және физика-химиялық көрсеткіштерге статистикалық талдау.....	460
Талгатқызы Ә., Нажиқызы М., Өтенов Ә., Сейтқазинаева Ә., Исанбекова А. Ағаш қалдықтарынан алынған органосольв лигнин негізіндегі көміртекті талшықтарды энергия сақтау жүйелерінде қолдану.....	475
Тоқтабаева Ә.Қ., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.Қ., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Анилин, п-фенилендиамин, фенол және формальдегид негізіндегі күкіртқұрамды композиттердің синтезі, құрылымы және физика-химиялық қасиеттері.....	498
Ешманова Г.Б., Смағұлов Д.У. Кремний негізіндегі бөлшектердің ПЭО жабындарының қалыптасуы мен құрамына әсері.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.Қ., Паньшина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. P(III) және P(V) реагенттерімен аминотиазолдар мен аминок-тиадиазолдарды N-фосфорлирлеу: синтезі, құрылымы және биологиялық белсенділігі.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Үйінді мыс балқыту шлагы мен қорғасын балқытудың түйіршіктелген шлагын планетарлық ұнтақтау кинетикасы мен энергетикасын салыстырмалы зерттеу.....	552

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

Оценка применимости законов подобия при масштабировании центробежных насосов на основе гидродинамического моделирования.....14

Баратов А.Г., Сайлаубек А., Серік А.С.Получение и исследование узкозонного фотокатализатора на основе SrTaO_2N33**Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.**

Современные методы селективного выщелачивания лития из отработанных литий-ионных аккумуляторов.....45

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

Сравнительный анализ одномерных физико-гидродинамических моделей центробежного течения в рабочем колесе для минерализованных сред.....60

Сыздыкова А.М., Серикбаев Н.С., Кутум Б.Б.

Локальные преобразование типа кодамы и пределы интегрируемости расширенного уравнения Кортевега-де Фриза пятого порядка.....83

Уалиханова У.А., Усипкызы Т., Алтаева Г.С., Разина О.В.Расчёт экранированной модели $f(T)$ -гравитации.....101**Жадыранова А.А., Цыба П.Ю., Исмаил У.Қ., Ержан Б.**

Дивергентно-свободный параметр замедления, кинематические ограничения по данным DESI DR2 и космических хронометров.....123

Женискан К., Беков С.С., Сыздыкова А.М.

Влияние параметров Гауссового процесса на реконструкцию постоянной Хаббла.....146

ХИМИЯ

Амангелди Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтурсев М., Даулетияров М.

Исследование процессов обжига и белизны клинкеров белых цементов.....155

Байсалова Г.Ж., Бауыржанова Г.Б., Нияз Г.А., Талтенов А.А., Айнабаев А.А.

Изучение химического состава этанольных экстрактов манжетки обыкновенной методом газ хроматографии-масс-спектрометрии.....169

Бишимбаев В.К., Капсалямов Б.А.

Гидрогеохимические индикаторы воздействия сернокислотного выщелачивания урана на подземные воды районов Шиели и Жанакоргана.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нургалиева Д.А., Абылкасова Г.Е., Абилямжинова Г.А.

Структурно-морфологические особенности полимер-металлических функциональных материалов.....205

Дюсебаева М.А., Берганаева А.Е., Ибрагимова Н.А., Утаралиев Д.М., Берганаева Г.Е. Зеленый синтез серебряных наночастиц с использованием N-бутанольной фракции Galega Officinalis L.....	223
Дюсембекова С.Б., Утарова Д.А., Куспанов Ж.Б., Даулбаев Ч.Б., Абдикаримова У.А. Исследование влияния термической обработки SrTiO ₃ на фотокаталитической эффективности разложения амфотерного антибиотика.....	239
Исаева У.Б., Ахметова Г.С., Пралиев К.Д., Малмакова А.Е., Сейлханов Т.М. Гидрохлорид 1-бензил-4-(п-фторбензоилоксиимино) пиперидина в качестве кандидата в противомикробное средство.....	252
Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мұсапирова Л. Влияние химической модификации лигносульфоната натрия на его флотационные свойства в системе барит–кальцит.....	264
Кононов А., Қамұнұр Қ., Мұсапирова Л., Асылханова Д., Батқал А. Получение и исследование неорганического флокулянта Al–Fe–Mn на основе модифицированного бентонита.....	276
Қурманғалиева А., Ахметова Ф., Карешова Ж., Исаков Р. ПДМА-модифицированный таганский бентонит для получения водорода при каталитической конверсии углеводородов.....	292
Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes Н.Т., Калмаханова М.С. Модифицированные железом активированные угли из кукурузных початков для адсорбционно-окислительного удаления парацетамола и сульфаметоксазола.....	307
Надиров Р.К., Нуртазина Н.Д., Рыскалиева Р.Г. Моделирование поверхности отклика и оптимизация флотации ильменита с использованием модифицированного лигносульфонатного реагента.....	334
Нефедов А.Н., Тайкенова А.Т., Имашев Б.К., Нурисламов Р.М., Леонтьева К.А. Квантовые вычисления в моделировании коррозионных процессов.....	350
Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Кабиева С.К., Жаслан Р.К. Синтез и структурное исследование сульфопроизводных 3,5-диметилизоксазола совторичными аминами.....	365
Оразбекова Р.С., Тунгатарова С.А., Байжұманова Т.С., Кауменова Г.Б., Жұмабек М. Влияние состава реакционной смеси в паровом риформинге биоэтанола на высокоэнтропийном оксидном катализаторе.....	382
Рыскалиева Р.Г., Бейсембаева Л.К., Осеров Т.Б. Гидроциклонная классификация хвостов обогащения Балхашской обогажительной фабрики.....	398
Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Кензин Э.Н., Журинов М. Формирование и созревание фосфатных покрытий на стали из фосфатирующего раствора на основе спирта.....	418

Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Балкембай А.С., Сарова Н.Б., Жалтырбаева Н.К. Влияние состава электролита на свойства гальванических покрытий на основе цинка.....	435
Сейткалиева Н., Кусаинова Г., Журсумбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Абдиев К. Исследование флокулирующих свойств сополимеров на основе итаконовой кислоты.....	448
Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Острцова Н.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б. Комплексная оценка качества природной питьевой воды и статистический анализ физико-химических показателей.....	460
Талгаткызы А., Нажипкызы М., Отенов А., Сейтказинова А., Исанбекова А. Углеродные волокна на основе органосольв лигнина, полученного из древесных отходов, для применения в системах хранения энергии.....	475
Токтабаева А.К., Махаева Д.Н., Рахметуллаева Р.К., Рвайдарова Г.О., Исенова Г.Д. Синтез, структура и физико-химические свойства серосодержащих композитов на основе анилина, п-фенилендиамина, фенола и формальдегида.....	498
Ешманова Г.Б., Смагулов Д.У. Влияние частиц на основе кремния на формирование и состав ПЭО покрытий.....	517
Жортарова А.А., Kubicek V., Ибраев М.К., Панышина С.Ю., Сейдахметова Р.Б. N-фосфорилирование аминотиазолов и амино-тиадиазолов с помощью реагентов Р(III) и Р(V): синтез, структура и биологическая активность.....	538
Жусупова А., Тюменцева О., Антонюк В. Сравнительное исследование кинетики и энергетики планетарного измельчения отвального медеплавильного шлака и гранулированного шлака свинцовой плавки.....	553

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 3.
Number 359 (2026), 292-306

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.477>

UDC: 66.081
IRSTI: 61.53.99

©Kurmangaliyeva A.¹, Akhmetova F.², Kareshova Zh.¹, Iskakov R.^{1,3}, 2026.

¹Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan;

²West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan,
Uralsk, Kazakhstan;

³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: kurmangaliyeva_23@aogu.edu.kz

PDMA-MODIFIED TAGAN BENTONITE FOR HYDROGEN PRODUCTION IN CATALYTIC CONVERSION OF HYDROCARBONS

Kurmangaliyeva Ayazhan — PhD student, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan,

E-mail: kurmangaliyeva_23@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1276-7391>;

Akhmetova Firuza — PhD, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan,

E-mail: firuza.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8869-3053>;

Kareshova Zhannat — Master of Technical Sciences, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan,

E-mail: zh.kareshova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2893-3118>;

Iskakov Rinat — Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan,

E-mail: r.iskakov@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8795-9622>.

Abstract. With growing plastic waste and increasing demand for clean energy sources, the development of effective catalysts for hydrogen production is particularly important. The aim of this study is to synthesize, characterize, and evaluate the catalytic activity of Tagan bentonite modified with polydimethylacrylamide (PDMA) in the catalytic conversion of hydrocarbons to produce hydrogen-containing gas. Natural bentonite from the Tagan deposit, previously acid-activated and impregnated with 1 wt% PDMA, was used as the support. The structural and morphological properties of the resulting catalyst were studied using XRD, FTIR, SEM and TEM. Catalytic testing was carried out in a fixed-bed reactor at 650°C, followed by analysis of the gaseous products by gas chromatography. The results of the study showed that modification with polydimethylacrylamide does not lead to the destruction of the crystalline structure of montmorillonite, but rather promotes the formation of a polymer-mineral nanocomposite with a developed lamellar morphology and improved surface properties. The gaseous

products of the catalytic conversion contained 35.9 vol% hydrogen, 34.1 vol% methane, and 29.5 vol% C₂–C₃ hydrocarbons. The hydrogen yield was 1.28 mmol/g, and the H₂/CH₄ ratio reached 1.05, indicating the efficient cracking and dehydrogenation reactions on the catalyst surface. The obtained results confirm the potential of using PDMA-modified Tagan bentonite as an accessible and effective heterogeneous catalyst for the thermocatalytic processing of polymer waste to produce hydrogen-containing gas and can serve as a basis for the development of environmentally friendly technologies for the disposal of plastic waste and the production of alternative energy sources.

Keywords: Tagan bentonite, polydimethylacrylamide, modified catalyst, catalytic pyrolysis, polypropylene, hydrogen, plastic waste recycling, heterogeneous catalysis

Funding: This work was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26104697).

For citations: Kurmangaliyeva A., Akhmetova F., Kareshova Zh., Iskakov R. PDMA-Modified Tagan Bentonite for Hydrogen Production in Catalytic Conversion of Hydrocarbons. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.3. Pp. 292-306. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.477>

©Курмангалиева А.^{1*}, Ахметова Ф.², Карешова Ж.¹, Искаков Р.^{1,3}, 2026.

¹С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан;

²Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан;

³Satbayev University, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: kurmangaliyeva_23@aogu.edu.kz

КӨМІРСУТЕКТЕРДІҢ КАТАЛИТИКАЛЫҚ КОНВЕРСИЯСЫ АРҚЫЛЫ СУТЕК АЛУҒА АРНАЛҒАН ПДМА-МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ТАҒАН БЕНТОНИТІ

Курмангалиева Аяжан — PhD докторант, С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан,

E-mail: kurmangaliyeva_23@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1276-7391>;

Ахметова Фируза — PhD, Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,

E-mail: firuza.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8869-3053>;

Карешова Жаннат — техника ғылымдарының магистрі, С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан,

E-mail: zh.kareshova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2893-3118>;

Искаков Ринат — химия ғылымдарының докторы, қауымдастырылған профессор, С. Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан,

E-mail: r.iskakov@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8795-9622>.

Аннотация. Пластикалық қалдықтардың өсуімен және таза энергия көздеріне деген сұраныстың артуымен сутегі өндірісіне арналған тиімді катализаторларды әзірлеу ерекше маңызды. Бұл зерттеудің мақсаты - көмірсутектерді каталитикалық

түрлендіру кезінде полидиметилакриламидпен (PDMA) модификацияланған Таган бентонитінің каталитикалық белсенділігін синтездеу, сипаттау және бағалау, сутегі бар газды алу. Тірек ретінде бұрын қышқылмен белсендірілген және 1 салмақтық% PDMA-мен сіңірілген Таган кен орнынан алынған табиғи бентонит пайдаланылды. Алынған катализатордың құрылымдық және морфологиялық қасиеттері рентгендік дифракция (XRD), Фурье түрлендіруінің инфрақызыл спектроскопиясы (FTIR) және сканерлеу және беру электронды микроскопиясы (SEM және TEM) арқылы зерттелді. Каталитикалық сынақ 650°C температурада бекітілген қабатты реакторда жүргізілді, содан кейін газ тәрізді өнімдерді газ хроматографиясы арқылы талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері полидиметилакриламидпен модификациялау монтмориллониттің кристалдық құрылымының бұзылуына әкелмейтінін, керісінше, дамыған пластиналы морфологиясы және жақсартылған беттік қасиеттері бар полимер-минералды нанокөмірдің түзілуіне ықпал ететінін көрсетті. Каталитикалық түрлендірудің газ тәрізді өнімдерінде 35,9 көлем% сутегі, 34,1 көлем% метан және 29,5 көлем% $\text{C}_2\text{--C}_3$ көмірсутектері болды. Сутегі шығымы 1,28 ммоль/г құрады, ал H_2/CH_4 қатынасы 1,05-ке жетті, бұл катализатор бетіндегі тиімді крекинг және дегидрлеу реакцияларын көрсетеді. Алынған нәтижелер PDMA-модификацияланған Таган бентонитін сутегі бар газ алу үшін полимер қалдықтарын термокаталитикалық өңдеу үшін қолжетімді және тиімді гетерогенді катализатор ретінде пайдалану әлеуетін растайды және пластикалық қалдықтарды жою және баламалы энергия көздерін өндіру үшін экологиялық таза технологияларды әзірлеуге негіз болады.

Түйін сөздер: Таган бентониті, полидиметилакриламиді, модификацияланған катализатор, каталитикалық пиролиз, полипропилен, сутегі, пластик қалдықтарын қайта өңдеу, гетерогенді катализ

©Курмангалиева А.^{1*}, Ахметова Ф.², Карешова Ж.¹, Искаков Р.^{1,3}, 2026.

¹Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан;

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангирхана, Уральск, Казахстан;

³Satbayev University, Алматы, Казахстан.

*E-mail: kurmangalieva_23@aogu.edu.kz

ПДМА-МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТАГАНСКИЙ БЕНТОНИТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПРИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Курмангалиева Аяжан — PhD докторант, Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан,

E-mail: kurmangalieva_23@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1276-7391>;

Ахметова Фируза — PhD, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангирхана, Уральск, Казахстан,

E-mail: firuza.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8869-3053>;



Карешова Жаннат — магистр технических наук, Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан,

E-mail: zh.kareshova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2893-3118>;

Искаков Ринат — доктор химических наук, ассоциированный профессор, Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан,

E-mail: r.iskakov@aogu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8795-9622>.

Аннотация. В условиях роста объёмов пластиковых отходов и увеличения спроса на экологически чистые источники энергии разработка эффективных катализаторов для получения водорода приобретает особую актуальность. Целью настоящего исследования является синтез, физико-химическая характеристика и оценка каталитической активности таганского бентонита, модифицированного полидиметилакриламидом (ПДМА), в процессе каталитической конверсии углеводов с получением водородсодержащего газа. В качестве носителя использован природный бентонит месторождения «Таган», предварительно подвергнутый кислотной активации и модифицированный 1 мас.% ПДМА методом пропитки. Структурные и морфологические особенности полученного катализатора исследованы методами рентгенофазового анализа (XRD), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ). Каталитические испытания проводили в реакторе с фиксированным слоем при температуре 650 °С с последующим анализом газообразных продуктов методом газовой хроматографии.

Результаты исследований показали, что модификация полидиметилакриламидом не приводит к разрушению кристаллической структуры монтмориллонита, а способствует формированию полимер-минерального нанокомпозита с развитой пластинчатой морфологией и улучшенными поверхностными характеристиками. В составе газообразных продуктов каталитической конверсии установлено содержание водорода 35,9 об.%, метана 34,1 об.% и углеводов фракции C_2-C_3 29,5 об.%. Выход водорода составил 1,28 ммоль/г, а отношение H_2/CH_4 достигло 1,05, что свидетельствует об эффективном протекании реакций крекинга и дегидрирования на поверхности катализатора.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования ПДМА-модифицированного таганского бентонита в качестве доступного и эффективного гетерогенного катализатора для термокаталитической переработки полимерных отходов с получением водородсодержащего газа и могут служить основой для разработки экологически безопасных технологий утилизации пластиковых отходов и производства альтернативных энергоносителей.

Ключевые слова: таганский бентонит, полидиметилакриламид, модифицированный катализатор, каталитический пиролиз, полипропилен, водород, переработка пластиковых отходов, гетерогенный катализ

Введение. В условиях нарастающего экологического кризиса проблема накопления пластиковых отходов приобретает глобальный масштаб. В 2019

году было образовано около 353 миллионов тонн пластиковых отходов (Ryou et al., 2025), а к 2023 году этот показатель возрос до 413,8 миллиона тонн, причём лишь 9% из них было переработано (Bussarakum et al., 2025). Остальные отходы сжигаются (19%), размещаются на полигонах (50%) или остаются без утилизации (22%), что приводит к значительному накоплению пластика в экосистемах (Muthukutti et al., 2025).

Ежегодно в мировой океан попадает около 8 миллионов тонн пластика, и по прогнозам к 2050 году масса пластикового загрязнения превысит биомассу морских рыб. Вследствие химической инертности пластика его полное разложение может занять от 250 до 500 лет. Кроме того, компоненты пластиковых отходов проникают в пищевую цепочку человека через культурные растения и животных, представляя значительную, хотя и недостаточно изученную угрозу здоровью людей (Bushra et al., 2025). Ряд стран — Кения, Руанда, Бангладеш, ЮАР, Китай, Индия, Италия, Нидерланды и Турция — уже ввёл запреты или существенные ограничения на использование пластиковой упаковки. Франция приняла законодательство о поэтапном отказе от одноразового пластика к 2040 году. Все эти инициативы отражают глобальную тенденцию к сокращению воздействия пластиковых отходов на здоровье человека и окружающую среду (Teixeira et al., 2024).

В условиях нарастающего экологического кризиса, связанного с накоплением пластиковых отходов, разработка эффективных методов их переработки приобретает особую актуальность. Полипропилен является одним из наиболее распространённых видов пластика, объём производства и потребления которого ежегодно возрастает, что обуславливает необходимость поиска рациональных путей его утилизации. Одним из перспективных методов переработки полимерных отходов является каталитический пиролиз, позволяющий получать ценные углеводородные продукты и водород.

Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических материалов при высоких температурах в отсутствие кислорода. Основной целью каталитического пиролиза является повышение эффективности процесса конверсии и получение жидких, газообразных продуктов и кокса (Biakhmetov et al., 2023). Поскольку отходы полипропилена не поддаются биологическому разложению, поиск методов их химической переработки остаётся актуальной задачей (Panda, 2018).

Водород, получаемый в ходе каталитического пиролиза, рассматривается как перспективный энергоноситель в контексте развития водородной энергетики. Водород — один из газообразных продуктов пиролиза — приобретает всё большее значение как основной альтернативный источник энергии благодаря чистым характеристикам горения и широкому спектру применения. В качестве энергоносителя и топлива с нулевыми выбросами на транспорте, при производстве электроэнергии, в нефтяной, химической и аммиачной промышленности водород представляет собой устойчивое и экологически чистое решение. По прогнозам, к 2060 году возобновляемые источники энергии займут доминирующее положение в производстве электроэнергии, а водород будет играть важную

роль как низкоуглеродный и устойчивый энергоноситель будущего. Водород может быть получен из возобновляемых источников методами электролиза, биологического синтеза, термохимических циклов, фотокатализа и плазмолиза. В настоящее время более 90% водорода производится из ископаемого топлива, что формирует углеродный след около 830 миллионов тонн CO_2 в год. В связи с этим альтернативные источники производства водорода, способные заменить интенсивное использование ископаемого топлива, могут существенно снизить выбросы CO_2 (Uddin et al., 2025).

Важную роль в каталитическом пиролизе играет природа и свойства катализатора. Замена традиционных токсичных реагентов экологически безопасными и внедрение экологически чистых гетерогенных катализаторов вместо гомогенных являются ключевыми направлениями развития зелёной химии (Freeman, 1980). Последние достижения в области гетерогенного катализа свидетельствуют о перспективности данного направления для промышленного применения, особенно в тонком химическом синтезе (Tietze and Rackelmann, 2004). Гетерогенные катализаторы — это химические катализаторы, физическая фаза которых отличается от физической фазы реагентов и/или продуктов катализируемых химических реакций (Chu et al., 2022; Castro et al., 2026; Tsoking et al., 2025). В настоящее время учёные и исследователи уделяют всё больше внимания разработке гетерогенных катализаторов в связи с их надёжностью и низкими эксплуатационными затратами. Кроме того, такие катализаторы экологически чисты, легко восстанавливаются и могут использоваться повторно (Rabie et al., 2018; Ali et al., 2018).

В частности, катализаторы на основе глин, в том числе бентонит, являются недорогими материалами, получаемыми из доступного сырья (Soetaredjo et al., 2010; Borah et al., 2023; Ulakpa et al., 2022). Бентонит преимущественно состоит из монтмориллонита, а содержание в нём SiO_2 и Al_2O_3 обеспечивает каталитическую активность. Исследования показали, что применение бентонитового катализатора снижает вязкость пиролизного масла и повышает его теплотворную способность (Budsareechai et al., 2019). Однако для получения высококачественных продуктов бентонит требует модификации.

Модификация полимерами является одним из перспективных направлений улучшения каталитических свойств бентонита. Полидиметилакриламид (ПДМА) представляет собой водорастворимый полимер с высокой молекулярной массой. Модификация бентонита ПДМА приводит к увеличению удельной поверхности и росту числа кислотных центров, что повышает эффективность реакции пиролиза. Благодаря такой модификации улучшается мезопористая структура катализатора и облегчается диффузия реагентов (Rahman et al., 2022).

В связи с вышеизложенным, изучение каталитического пиролиза полипропилена в присутствии бентонита, модифицированного полидиметилакриламидом, является актуальной и научно значимой задачей. Целью настоящей работы является характеристика физико-химических свойств синтезированного катализатора, установление влияния условий пиролиза на выход продуктов, а также анализ состава полученных газообразных продуктов.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использован щелочноземельный бентонит светло-розового цвета с месторождения «Таган», расположенного у с. Акжар Тарбагатайского района Восточно-Казахстанской области. Бентонит предварительно промывали дистиллированной водой для удаления неорганических примесей, после чего просеивали через сито с размером ячейки 0,30 мм. Очищенный бентонит обрабатывали 1 М раствором H_2SO_4 в соотношении 1:1 при перемешивании с помощью механической мешалки на водяной бане при температуре 70°C в течение 20 часов. После кислотной обработки образец промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции среды ($pH = 7$) с проверкой отсутствия остаточных ионов кислоты. Отфильтрованный бентонит сушили в сушильном шкафу при 100°C до постоянной массы, после чего активировали при 500°C в течение 4 часов в муфельной печи SNOL 8,2/1100 LSM. Для модификации рассчитывали количество полидиметилакриламида из расчёта 1 мас.% от общей массы бентонита и вводили его методом пропитки при перемешивании на водяной бане при 70°C. Полученный образец 1%ПДМА/бентонит высушивали в сушильном шкафу при 100°C до постоянной массы.

Кристаллическая структура образцов исследована методом рентгенофазового анализа (XRD) с использованием $Cu\ K\alpha$ -излучения ($\lambda = 1,5406\text{ \AA}$) на приборе Rigaku SmartLab (Япония). ИК-спектры с преобразованием Фурье (FTIR) регистрировались в диапазоне 400–4000 cm^{-1} на спектрометре Bruker ALPHA II. Морфология поверхности и микроструктура образцов изучены методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, Zeiss Crossbeam 540) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ, JEOL JEM-1400 PLUS). Газообразные продукты пиролиза анализировали с помощью газового хроматографа Agilent 7890, оснащённого пламенно-ионизационным детектором с метанизатором (methanizer-FID). Содержание водорода (H_2) определяли детектором по теплопроводности (TCD), углеводороды — детектором FID. Температура детектора поддерживалась на уровне 250°C. Разделение лёгких углеводородов проводилось на капиллярной колонке Al_2O_3 PLOT, предназначенной для анализа газообразных компонентов C_1 – C_3 . Основные идентифицированные газы: H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 и C_3H_8 .

Эксперименты по пиролизу проводились в лабораторном реакторе с фиксированным слоем при непрерывном потоке газовой смеси в инертной атмосфере. Рабочий объём реактора составлял 143,1 мл. Предварительно высушенный над хлоридом кальция катализатор равномерно загружали в реакционную зону без остаточных пустот для обеспечения эффективного контакта паров пиролиза с катализатором по всему объёму реактора. После загрузки катализатор нагревали с контролируемой скоростью до целевой температуры. Для поддержания бескислородной атмосферы в реакторе углеводородную газовую смесь подавали со скоростью 100 мл/мин после предварительного нагрева до $650 \pm 10^\circ C$. Время пребывания реакционной смеси в реакторе поддерживалось в диапазоне 1,8–2,0 с, что обеспечивало достаточное взаимодействие летучих промежуточных продуктов с активными центрами катализатора. Образующиеся газообразные продукты непрерывно контролировались в режиме реального

времени с помощью системы газовой хроматографии (GC-FID). В отдельных экспериментах первичные газообразные продукты пиролиза повторно подавались в реактор и пропускались через слой катализатора для оценки процессов вторичного превращения. В общей сложности три образца подверглись такой повторной газовой обработке.

Влияние температуры реакции, типа катализатора и времени пребывания реакционной смеси на распределение продуктов изучалось систематически. Для сопоставимости результатов все эксперименты проводились в идентичных рабочих условиях.

Результаты и обсуждение. Для изучения структурных, морфологических и каталитических свойств бентонита, модифицированного полидиметилакриламидом, применялись методы рентгенофазового анализа (XRD), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ). Каталитическая активность материала в процессе пиролиза оценивалась на основании анализа газообразных продуктов методом газовой хроматографии. Полученные результаты позволяют установить взаимосвязь между структурными особенностями полимер/бентонита и его влиянием на распределение продуктов пиролиза.

Химический состав исходного таганского бентонита, определённый методом рентгенофлуоресцентного анализа, включает SiO_2 (55,48%), Al_2O_3 (19,38%), Fe_2O_3 (4,40%), CaO (1,98%), MgO (2,18%), Na_2O (1,24%) и другие оксиды (Асанов и др., 2025). Высокое содержание SiO_2 и Al_2O_3 свидетельствует о преобладании монтмориллонита в минералогическом составе бентонита, что подтверждается данными рентгенофазового анализа. Данные РФА модифицированного образца не приводятся, поскольку органический модификатор (ПДМА) полностью выгорает при высоких температурах пробоподготовки и не может быть определён данным методом.

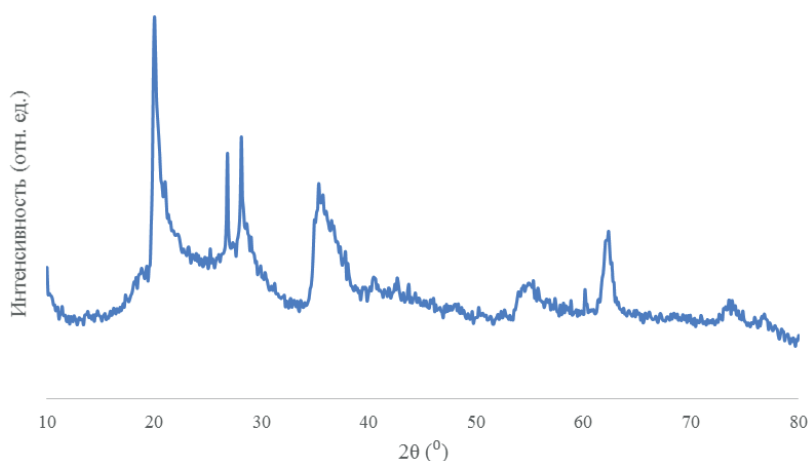


Рисунок 1. Дифрактограмма рентгенофазового анализа (XRD) образца ПДМА-модифицированного бентонита.

Дифрактограмма ПДМА-модифицированного бентонита представлена на рисунке 1. На дифрактограмме зафиксированы рефлексы при $2\theta = 20,0^\circ$; $26,8^\circ$; $28,1^\circ$; $35,3^\circ$ и $62,0^\circ$.

Рефлекс при $2\theta = 20,0^\circ$ относится к монтмориллониту и отражает сохранение слоистой алюмосиликатной структуры после органической модификации. Пики при $2\theta = 26,8^\circ$ и $28,1^\circ$ соответствуют кварцу и полевоому шпату — минеральным примесям, характерным для природного бентонита. Рефлекс при $2\theta = 35,3^\circ$ отнесён к плоскостям монтмориллонита, а пик при $2\theta = 62,0^\circ$ подтверждает присутствие октаэдрических алюминиевых слоёв в структуре минерала.

Таблица 1. Основные рефлексы дифрактограммы ПДМА-модифицированного бентонита.

2θ ($^\circ$)	Интенсивность (отн. ед.)	Минеральная фаза
$\sim 20,0$	2801	Монтмориллонит / кварц
$\sim 26,8$	1803	Кварц
$\sim 28,1$	1923	Полевой шпат
$\sim 35,3$	1580	Монтмориллонит
$\sim 62,0-62,3$	1231	Монтмориллонит

Полученные данные свидетельствуют о сохранении кристаллической структуры бентонита после введения ПДМА. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым модификация бентонита водорастворимыми полимерами не приводит к существенному изменению кристаллической структуры монтмориллонита. В сочетании с результатами FTIR-анализа это позволяет предположить, что взаимодействие между полидиметилакриламидом и бентонитом осуществляется преимущественно за счёт физико-химических взаимодействий функциональных групп полимера с поверхностью минерала при сохранении слоистой структуры алюмосиликата (Zhao et al., 2025; Yang et al., 2026; Zhang et al., 2026).

Для более детального изучения химического взаимодействия между полимером и бентонитом был проведён FTIR-анализ. Соответствующие ИК-спектры представлены на рисунке 2.

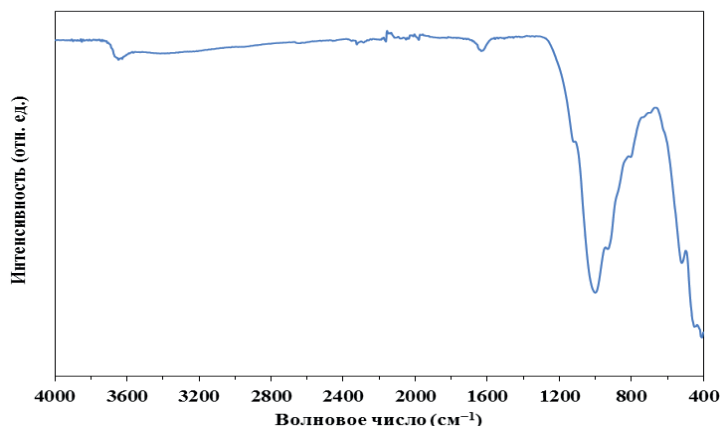


Рисунок 2. ИК-спектры с преобразованием Фурье (FTIR) образца ПДМА-модифицированного бентонита в диапазоне $4000-400\text{ см}^{-1}$

ИК-спектр бентонита, модифицированного полидиметилакриламидом (ПДМА), представлен на рисунке 2. В спектре наблюдаются характерные полосы поглощения при 3622, 985, 677, 505 и 485 см^{-1} .

Полоса при 3622 см^{-1} соответствует валентным колебаниям групп Al–ОН октаэдрического слоя монтмориллонита и является характерной для алюмосиликатной структуры бентонита. Аналогичные полосы ранее описаны в литературе для полимер-модифицированных бентонитов и связывались с возможным участием гидроксильных групп во взаимодействии между полимером и минеральной матрицей (Jiang et al., 2025; Chandra and Siddiqua, 2026). Сохранение данной полосы после модификации указывает на отсутствие существенных изменений в кристаллической структуре монтмориллонита.

Полоса при 985 см^{-1} отнесена к валентным колебаниям связей Si–O–Si тетраэдрического слоя алюмосиликата. Полоса при 677 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям связей Al–O–Si в структуре монтмориллонита. Полосы при 505 и 485 см^{-1} относятся к деформационным колебаниям связей Si–O–Al и Si–O–Mg соответственно, характерным для смектитовых минералов. Наличие всех указанных полос подтверждает сохранение алюмосиликатной структуры бентонита в составе модифицированного катализатора (Seidi et al., 2024).

Для количественной оценки изменений, вызванных модификацией ПДМА, была проведена сравнительная оценка относительной интенсивности основных полос поглощения FTIR-спектров. Интенсивность полос нормировали относительно наиболее интенсивной полосы спектра. После модификации наблюдалось изменение относительной интенсивности полос в области 985, 677, 505 и 485 см^{-1} , соответствующих колебаниям Si–O–Si, Al–O–Si, Si–O–Al и Si–O–Mg соответственно. Изменение интенсивности указанных полос может быть связано с взаимодействием функциональных групп ПДМА с поверхностью алюмосиликатной матрицы. При этом сохранение характерных полос бентонита, включая полосу при 3622 см^{-1} , свидетельствует о сохранении основных структурных особенностей монтмориллонита после модификации. Таким образом, FTIR-анализ подтверждает, что модификация ПДМА изменяет поверхностное окружение функциональных групп бентонита без существенного разрушения его алюмосиликатной структуры.

Морфология поверхности ПДМА-модифицированного бентонита исследована методами сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии (рисунки 3, 4).

СЭМ-изображение демонстрирует характерную для смектитовых глин неоднородную чешуйчато-пластинчатую морфологию с развитой поверхностью. Наблюдаются агрегаты частиц с неправильными изломами и складчатыми краями пластин, что типично для монтмориллонита после органической модификации.

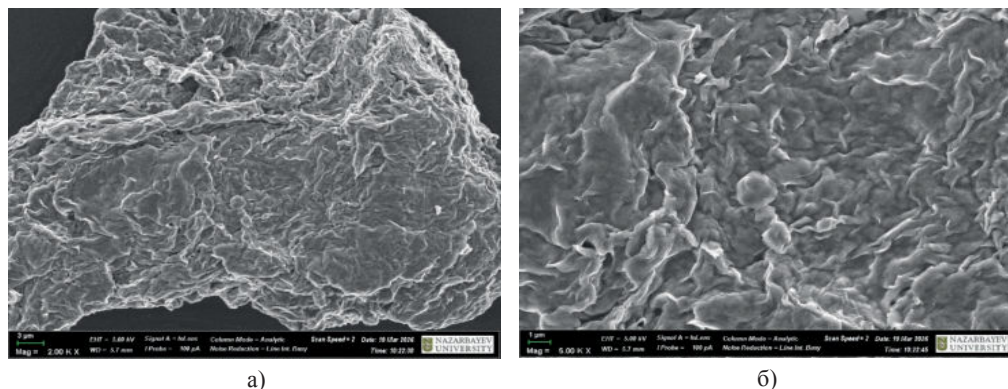


Рисунок 3. СЭМ-изображения образца ПДМА-модифицированного бентонита при увеличении (а) 3 мкм и (б) 1 мкм.

ПЭМ-изображение позволяет наблюдать отдельные пластинчатые частицы с чётко выраженной слоистой структурой. Видны протяжённые пластины толщиной в несколько нанометров, что подтверждает сохранение слоистой архитектуры монтмориллонита на наноуровне.

После введения полимерной фазы наблюдается частичное или полное расслоение пакетов, формирование более тонких пластинчатых структур и снижение степени агрегации частиц. Подобное изменение морфологии ранее описано в литературе и связано с интеркаляцией и эксфолиацией монтмориллонита под действием полимеров, что подтверждает проникновение полимерных цепей в межслоевые пространства бентонита (Pu et al., 2025).

Наблюдаемая пластинчатая структура в модифицированных образцах указывает на формирование полимер-минерального нанокompозита, в котором полимер стабилизирует расширенные слои глинистого минерала.

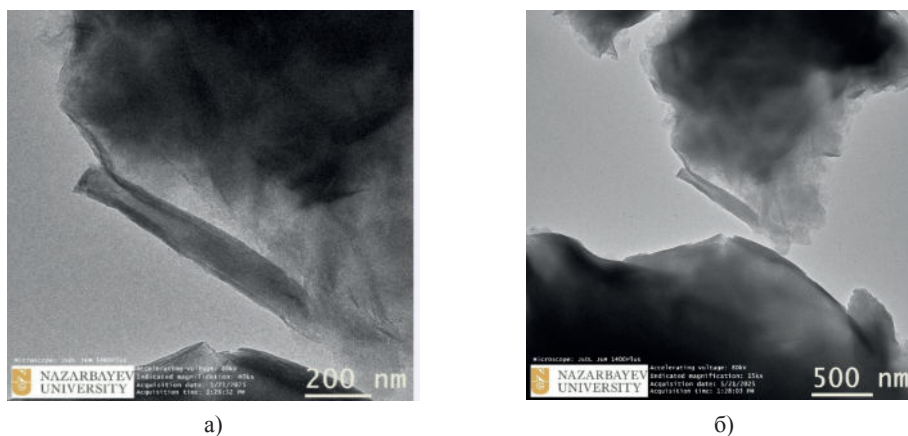


Рисунок 4. ПЭМ-изображения образца ПДМА-модифицированного бентонита при различных увеличениях: (а) 200 нм и (б) 500 нм.

Состав газообразных продуктов, полученных при каталитической конверсии углеводородной газовой смеси над катализатором ПДМА-модифицированного бентонита, представлен в таблице 2. Пики идентифицированы с использованием сертифицированных калибровочных газов. Результаты представлены в виде объёмных процентов отдельных газовых компонентов в общей газообразной фракции.

Таблица 2. Состав газообразных продуктов пиролиза полипропилена на катализаторе ПДМА/бентонит (об.% газовой фазы).

Катализатор	C ₂ –C ₃ фракция (об.%)	CH ₄ (об.%)	H ₂ (об.%)	H ₂ /CH ₄	H ₂ , ммоль/г
Исходный бентонит	46,8	44,9	8,2	0,18	0,29
ПДМА/бентонит	29,5	34,1	35,9	1,05	1,28

Каталитическая активность исходного (немодифицированного) и ПДМА-модифицированного бентонита была исследована в реакции конверсии газовой смеси, имитирующей состав продуктов пиролиза полипропилена. Исходный бентонит использовали в качестве контрольного образца для непосредственной оценки влияния модификации полидиметилакриламидом на образование водорода. Все эксперименты проводили в идентичных условиях, что обеспечило корректное сопоставление каталитических характеристик исходного и модифицированного бентонита. Результаты анализа состава газообразных продуктов и выхода водорода представлены в таблице 2.

В составе газообразных продуктов, полученных на ПДМА-модифицированном бентоните, зафиксированы водород (H₂ — 35,9 об.%), метан (CH₄ — 34,1 об.%) и углеводороды C₂–C₃ фракции (29,5 об.%). Выход водорода составил 1,28 ммоль/г, а соотношение H₂/CH₄ — 1,05. Для исходного бентонита, использованного в качестве контрольного образца, концентрация H₂ составила 8,2 об.% в аналогичных условиях проведения эксперимента. Таким образом, после модификации бентонита ПДМА концентрация водорода увеличилась с 8,2 до 35,9 об.%, что соответствует увеличению примерно в 4,4 раза. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии ПДМА-модификации на каталитическое образование водорода.

Относительно высокое содержание C₂–C₃ фракции (29,5 об.%) указывает на частичное протекание реакций крекинга с образованием лёгких углеводородов. Соотношение H₂/CH₄, близкое к 1, свидетельствует о преимущественном протекании реакции дегидрирования метана и лёгких углеводородов на поверхности катализатора.

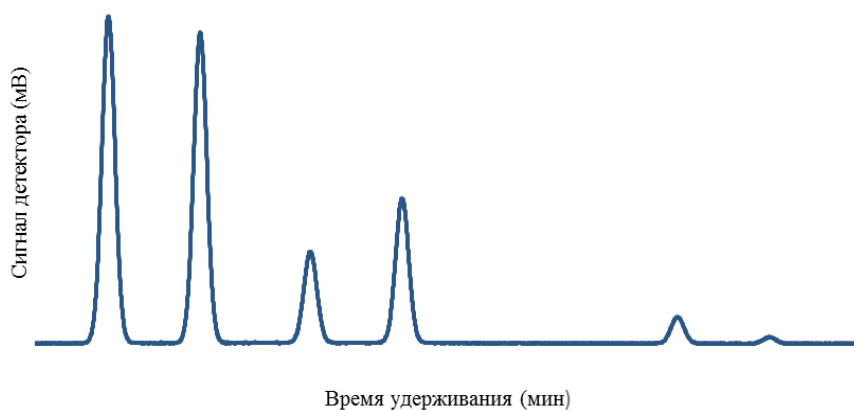


Рисунок 5. Хроматограммы газообразных продуктов пиролиза углеводородов в присутствии ПДМА-модифицированного бентонита.

Для оценки стабильности ПДМА-модифицированного бентонитового катализатора были проведены повторные каталитические циклы в одинаковых условиях реакции. После каждого цикла катализатор отделяли от реакционной системы, охлаждали и использовали повторно без дополнительной модификации. Каталитическую активность оценивали по содержанию водорода в газообразных продуктах и выходу H_2 . Полученные результаты показали, что катализатор сохраняет каталитическую активность при многократном использовании. После нескольких циклов наблюдалось лишь умеренное снижение выхода водорода, что свидетельствует о достаточно высокой устойчивости ПДМА-модифицированного бентонита в условиях каталитической конверсии углеводородов.

Таблица 3. Стабильность и каталитическая активность ПДМА-модифицированного бентонита при многократном использовании

Цикл реакции	H_2 , об. %	H_2 , ммоль/г	Сохранение активности, %
1	35,9	1,28	100
2	34,8	1,24	96,9
3	33,7	1,20	93,8
4	32,6	1,16	90,6
5	31,5	1,12	87,5

Как видно из полученных данных, в течение пяти последовательных циклов каталитической конверсии концентрация H_2 снизилась с 35,9 до 31,5 об.%, а выход водорода — с 1,28 до 1,12 ммоль/г. Таким образом, после пяти циклов катализатор сохранял около 87,5% первоначальной активности. Наблюдаемое снижение каталитической активности может быть связано с постепенным отложением углеродистых соединений на поверхности катализатора и частичным блокированием активных центров. Несмотря на это, ПДМА-модифицированный бентонит демонстрирует удовлетворительную устойчивость и возможность повторного использования в исследованных условиях.

Закключение. В настоящей работе синтезирован и охарактеризован катализатор на основе таганского бентонита, модифицированного полидиметилакриламидом (1 мас.%). Методами XRD, FTIR, СЭМ и ПЭМ показано, что введение ПДМА не разрушает кристаллическую структуру монтмориллонита, а способствует формированию полимер-минерального нанокompозита с развитой пластинчатой морфологией. Каталитические испытания в реакторе с фиксированным слоем при 650°C показали, что исследуемый катализатор обеспечивает высокое содержание водорода в газообразных продуктах (35,9 об.%) при выходе 1,28 ммоль/г и соотношении $H_2/CH_4 = 1,05$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что ПДМА-модифицированный таганский бентонит является перспективным низкзатратным катализатором для переработки полимерных отходов с получением водородсодержащего газа. Сравнение с исходным бентонитом показало, что модификация ПДМА повышает концентрацию водорода в газообразных продуктах с 8,2 до 35,9 об.%, что подтверждает эффективность полимерной модификации бентонита для каталитического получения водорода.

References

- Ali B., Yusup S., Quitain A.T., Alnarabiji M.S., Kamil R.N.M., Kida T. (2018). Synthesis of novel graphene oxide/bentonite bi-functional heterogeneous catalyst for one-pot esterification and transesterification reactions. *Energy Conversion and Management*. – Vol. 171. – P. 1801-1812. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.082> (in Eng.).
- Biakhmetov B., Dostiyarov A., Ok Y.S., You S. (2023). A review on catalytic pyrolysis of municipal plastic waste. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. – Vol. 12. – No. 6. <https://doi.org/10.1002/wene.495> (in Eng.).
- Borah D., Brahma D., Roy S. et al. (2023). Bentonite clay as a novel base heterogeneous catalyst in Knoevenagel condensation. *Results in Chemistry*. – Vol. 7. – P. 101238. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.101238> (in Eng.).
- Budsareechai S., Hunt A.J., Ngernyen Y. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. *RSC Advances*. – Vol. 9. – No. 10. – P. 5844-5857. <https://doi.org/10.1039/C8RA10058F> (in Eng.).
- Bushra R., Khayal A., Ahmad M. et al. (2025). Catalytic conversion of polymer waste into high-value products for advancing circular economy and eco-sustainability. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – P. 107052. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107052> (in Eng.).
- Bussarakum J., Drohan P.J., Najjar R.G., Arriola J.M., Emili L.A., Warner N.R. (2025). Microplastic polymer accumulation, distribution, and toxicity in sediment of a freshwater tidal marsh, USA. *Marine Pollution Bulletin*. – Vol. 221. – P. 118566. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118566> (in Eng.).
- Castro A., Lima-Junior C.G., De Brito França D., De Oliveira Martins W., Fonseca M.G. (2026). Bentonite in sustainable heterogeneous catalysis for organic reactions: An update. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – Vol. 14. – No. 2. – P. 122010. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2026.122010> (in Eng.).
- Chandra A., Siddiqua S. (2026). Synergistic adsorption mechanism of Pb^{2+} on chemically recycled PET polymer enhanced sand-bentonite mixture. *Journal of Environmental Management*. – Vol. 404. – P. 129462. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129462> (in Eng.).
- Chu M., Tu W., Yang S., Zhang C., Li Q., Zhang Q., Chen J. (2022). Sustainable chemical upcycling of waste polyolefins by heterogeneous catalysis. *SusMat*. – Vol. 2. – No. 2. – P. 161-185. <https://doi.org/10.1002/sus2.55> (in Eng.).
- Freeman F. (1980). Properties and reactions of ylidenemalononitriles. *Chemical Reviews*. – Vol. 80. – No. 4. – P. 329-350. <https://doi.org/10.1021/cr60326a004> (in Eng.).
- Jiang L., Wang H., Miao Y. et al. (2025). Preparation and properties of cross-linked polymer/bentonite nanocomposite. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Vol. 18. – No. 1. – P. 662-672. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.04.008> (in Eng.).

Muthukutti G. P., Singh M. K., Palaniappan S. K. et al. (2025). Value-added polymer composites using non-metallic industrial waste: A concise review. *Chemical Engineering Journal*. – P. 162344. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.162344> (in Eng.).

Panda A. K. (2018). Thermo-catalytic degradation of different plastics to drop in liquid fuel using calcium bentonite catalyst. *International Journal of Industrial Chemistry*. – Vol. 9. – No. 2. – P. 167-176. <https://doi.org/10.1007/s40090-018-0147-2> (in Eng.).

Pu H., Jiang L., Min M. et al. (2025). Preparation of elution-resistant Ca-bentonite/polymer nanocomposite. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Vol. 18. – No. 4. – P. 3070-3080. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.05.011> (in Eng.).

Rabie A. M., Mohammed E. A., Negm N. A. (2018). Feasibility of modified bentonite as acidic heterogeneous catalyst in low temperature catalytic cracking process of biofuel production from nonedible vegetable oils. *Journal of Molecular Liquids*. – Vol. 254. – P. 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.110> (in Eng.).

Rahman M., Shuva Z. M., Rahman M. A. et al. (2022). Catalytic pyrolysis of single-use waste polyethylene for the production of liquid hydrocarbon using modified bentonite catalyst. *European Journal of Inorganic Chemistry*. – Vol. 2022. – No. 34. <https://doi.org/10.1002/ejic.202200409> (in Eng.).

Ryou H., Byun J., Bae J., Kim D. K., Han J. (2025). Energy-efficient and environmentally friendly upcycling of waste plastic into fuels, chemicals, and polymer. *Chemical Engineering Journal*. – P. 162256. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.162256> (in Eng.).

Seidi A., Benhamou M., Khalil D. et al. (2024). Elaboration and characterization of a natural bentonite-poly (ethylene glycol) composite. *Chemical Physics Impact*. – Vol. 9. – P. 100673. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100673> (in Eng.).

Soetaredjo F.E., Ayucitra A., Ismadji S., Maukar A.L. (2010). KOH/bentonite catalysts for transesterification of palm oil to biodiesel. *Applied Clay Science*. – Vol. 53. – No. 2. – P. 341-346. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.12.018> (in Eng.).

Teixeira S.C., De Oliveira T.V., De Fátima Ferreira Soares N., Raymundo-Pereira P.A. (2024). Sustainable and biodegradable polymer packaging: Perspectives, challenges, and opportunities. *Food Chemistry*. – Vol. 470. – P. 142652. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142652> (in Eng.).

Tietze L.F., Rackelmann N. (2004). Domino reactions in the synthesis of heterocyclic natural products and analogs. *Pure and Applied Chemistry*. – Vol. 76. – No. 11. – P. 1967-1983. <https://doi.org/10.1351/pac200476111967> (in Eng.).

Tsokeing C.L., Dongmo S.D.M., Maffeu E.J., Tchieta P.G., Wansi J.D. (2025). Study of the degradation of RY-145 by the Fenton process using a prepared magnetic bentonite as heterogeneous catalyst. *Hybrid Advances*. – Vol. 10. – P. 100463. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100463> (in Eng.).

Uddin M.B. et al. (2025). Hydrogen Production from Plastic Waste Pyrolysis Syngas: A Review on Progresses and Challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*. – Vol. 158. – P. 150512. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150512> (in Eng.).

Ulakpa W.C., Ulakpa R.O., Eyankware E.O., Egwunyenga M.C. (2022). Statistical optimization of biodiesel synthesis from waste cooking oil using NaOH/bentonite impregnated catalyst. *Cleaner Waste Systems*. – Vol. 3. – P. 100049. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100049> (in Eng.).

Yang W., Zhou R., He Y. et al. (2026). A high-performance polymer-modified bentonite liner for sustainable landfills. *Journal of Environmental Management*. – Vol. 402. – P. 129136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129136> (in Eng.).

Zhang G., Chen D., Song L. et al. (2026). Optimization in water absorption and desorption of bentonite modified superabsorbent polymer. *Construction and Building Materials*. – Vol. 522. – P. 146099. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2026.146099> (in Eng.).

Zhao Q., Ruan K., Ito D. et al. (2025). Effects of specimen preparation methods on polymer–montmorillonite interactions and hydraulic conductivity. *Soils and Foundations*. – Vol. 66. – No. 1. – P. 101711. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2025.101711> (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: September 29, 2026
Format: 70×90 1/16. 34.5 printed sheets. Order No. 3.

*«Central Asian Academic Research Center» LLP
Almaty, Shevchenko Street, 28*