

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2  
2026**

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

2026 • 2



# **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%3A>; <https://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>

**ТИГІНЬАНУ 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 (KRIBB), 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

|                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T.</b><br>Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....                                                              | 13  |
| <b>Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye.</b><br>Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....                        | 25  |
| <b>Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh.</b><br>Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....                  | 38  |
| <b>Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M.</b><br>Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....                                               | 60  |
| <b>Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A.</b><br>Tin-based perovskites.....                                                                                                                                                         | 70  |
| <b>Nurtazina A.S., Zhubaev A.K.</b><br>Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....                                                                                | 92  |
| <b>Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A.</b><br>Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....                                                                                                                      | 103 |
| <b>Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B.</b><br>Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy..... | 119 |
| <b>Zhadyranova A.A., Yerzhan B.</b><br>Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....                                                                                                                     | 134 |
| <b>Zhusupova N.K.</b><br>Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....                                                                                        | 151 |

### CHEMISTRY

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K.</b><br>Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts..... | 164 |
| <b>Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K.</b><br>Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....                                | 175 |
| <b>Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh.</b><br>Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....                                           | 188 |



|                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M.</b><br>Production of $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -oligosaccharide clathrate cytosine complexes.....                                                  | 200 |
| <b>Jalmakhanbetova R.I., Yelshibayeva A.M., Zhumagaliyeva Zh.Zh., Mukusheva G.K.</b><br>Terpenoid compounds of <i>Artemisia terrae-albae</i> growing in the Turkestan Region<br>of Kazakhstan.....                                           | 213 |
| <b>Kapizov O.S., Mukhanov D.K., Dzheldybaeva I.M., Seisenov E.B., Akimbayeva A.B.</b><br>Sustainable recycling of ferrosilicon machining chips from metallurgical plants into<br>high-performance silicon–carbon anodes.....                 | 228 |
| <b>Massalimova B.K.</b><br>Wastewater treatment methods for heavy metal removal: production of activated carbon<br>from biomass.....                                                                                                         | 244 |
| <b>Nurtai Zh., Orynassar R., Aimaganbetova Z.K., Zhanturina N.N.</b><br>Simulation of kinetic parameters of vinyl ester resin samples with diatomite and<br>dimethyl methylphosphonate fillers.....                                          | 272 |
| <b>Sagyntayeva A., Zhanikulov N., Sudarev E., Kaiyrbaeva M., Zhakipbayev B.</b><br>Research on the quality of raw materials for obtaining gypsum-cement-pozzolanic<br>composite material.....                                                | 286 |
| <b>Satayeva S., Yermukhanova S., Urazova A., Mendygaliyeva A., Sabitov B.</b><br>Obtaining benzene by photocatalytic oxidation of toluene.....                                                                                               | 302 |
| <b>Sdikova G.Zh., Dalabayeva N.S., Sarova N.B., Muhtar T.Zh., Zhaltirbayeva N.K.</b><br>Efficiency of phosphorus-containing inhibitors in protecting steel against corrosion.....                                                            | 315 |
| <b>Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O.</b><br>Isolation and Characterization of lignin from <i>Phlomis tuberosa</i> L. biomass via<br>acid treatment.....                                                            | 329 |
| <b>Yesimsiitova Z.B., Seisenova A., Oryngaliyeva S.Zh., Sanuar A., Manap K.R.</b><br>Obtaining carbonized materials from rice husk using a mobile pyrolysis plant<br>for energy applications.....                                            | 338 |
| <b>Zhetenova M.S., Suleimenova M.Sh., Nuraly A.M., Mutushev A.Zh., Kalimoldina L.M.</b><br>Development and research of carotenoid-containing extracts obtained from plant<br>raw materials.....                                              | 353 |
| <b>Zhortarova A.A., Kubicek V., Salkeyeva L.K., Ibrayev M.K., Seidakhmetova R.B.</b><br>Synthesis and investigation of biological activity of 1,3-Bis(4-Phenylthiazol-2-yl)-2,4-Bis(N,N-<br>Diethylamino)-1,3-Diaza-2,4-Diphosphétidine..... | 367 |
| <b>Zhumabek M., Tungatarova S.A., Murzin D.Yu., Baizhumanova T.S.</b><br>Structural and catalytic properties of SCS-derived Co–Al–Mg–Mn catalysts<br>in dry reforming of methane.....                                                        | 383 |

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т.</b><br>Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....                                                                     | 13  |
| <b>Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.</b><br>Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....                      | 25  |
| <b>Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е.</b><br>Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....                  | 38  |
| <b>Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курманғалиева В., Сноу М.</b><br>Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....                                    | 60  |
| <b>Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А.</b><br>Қалайы негізіндегі перовскиттер.....                                                                                                                                                    | 70  |
| <b>Нуртазина А.С., Жубаев А.К.</b><br>Дисперстілігі жоғары охраның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....                                                                                   | 92  |
| <b>Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.</b><br>Ұшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....                                                                                                            | 103 |
| <b>Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.</b><br>Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу..... | 119 |
| <b>Жадыранова А.А., Ержан Б.</b><br>Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....                                                                                                       | 134 |
| <b>Жусупова Н.К.</b><br>Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....                                                                                                  | 151 |

## ХИМИЯ

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмұхамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ.</b><br>Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру..... | 164 |
| <b>Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К.</b><br>Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....                  | 175 |



**Башова А.К., Башов А.Б., Түлешова Э.Ж.**

Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында мырышпен тотықсыздандыру.....188

**Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.**  
Цитизиннің  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....200

**Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.**  
Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін *Artemisia terrae-albae* терпеноидты қосылыстары.....213

**Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б.**  
Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....228

**Масалимова Б.К.**

Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассада белсендендірілген көміртек алу.....244

**Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.**

Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....272

**Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.**

Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті шикізаттардың сапасын зерттеу.....286

**Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.**

Толуолдың фотокаталитикалық тотығуы арқылы бензол алу.....302

**Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.**

Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....315

**Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.**

*Phlomis Tuberosa* L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және сипаттау.....329

**Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.**

Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....338

**Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж., Калимолдина Л.М.**

Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды әзірлеу және зерттеу.....353

**Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.**  
1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидиннің  
синтезі және биологиялық белсенділігін зерттеу.....367

**Жұмабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.**  
SCS әдісімен дайындалған Co–Al–Mg–Mn катализаторларының метанның құрғақ  
реформингіндегі құрылымдық және каталитикалық қасиеттері.....383

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

**Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т.**

Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....13

**Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.**

Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....25

**Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е.**

Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....38

**Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М.**

Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....60

**Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А.**

Перовскиты на основе олова.....70

**Нуртазина А.С., Жубаев А.К.**

Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....92

**Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.**

Мёссбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....103

**Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.**

Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....119

**Жадыранова А.А., Ержан Б.**

Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....134

**Жусупова Н.К.**

Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....151

## ХИМИЯ

**Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К.**

Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....164

|                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К.</b><br>Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых<br>отходов и фосфорной кислоты.....                                   | 175 |
| <b>Баешова А.К., Баешов А.Б., Тулешова Э.Ж.</b><br>Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV)<br>в растворах серной кислоты.....                                                                           | 188 |
| <b>Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М.</b><br>Получение $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....                                          | 200 |
| <b>Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.</b><br>Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего<br>в Туркестанском регионе Казахстана.....                               | 213 |
| <b>Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б.</b><br>Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов<br>в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....              | 228 |
| <b>Масалимова Б.К.</b><br>Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного<br>угля из биомассы.....                                                                                                     | 244 |
| <b>Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н.</b><br>Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол<br>с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....                            | 272 |
| <b>Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б.</b><br>Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового<br>композиционного материала.....                                          | 286 |
| <b>Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б.</b><br>Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....                                                                                | 302 |
| <b>Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.</b><br>Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....                                                                         | 315 |
| <b>Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О.</b><br>Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa L.</i> с помощью<br>кислотной обработки.....                                                  | 329 |
| <b>Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.</b><br>Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием<br>мобильной пиролизной установки для энергетических применений..... | 338 |

**Жетенова М.С., Сулейменова М.Ш., Нуралы А.М., Мутушев А.Ж.,  
Калимолдина Л.М.**

Разработка и исследование каротиноидсодержащих экстрактов, полученных  
из растительного сырья.....353

**Жортарова А.А., Kubicek V., Салькева Л.К., Ибраев М.К., Сейдахметова Р.Б.**

Синтез и исследование биологической активности 1,3-бис(4-фенилтиазол-2-ил)-2,4-  
бис(N,N-диэтиламино)-1,3-диазо-2,4-дифосфетидина.....353

**Жумабек М., Тунгатарова С.А., Мурзин Д.Ю., Байжуманова Т.С.**

Структурные и каталитические свойства Co–Al–Mg–Mn катализаторов, приготовленных  
методом SCS, для сухого риформинга метана.....383

ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES  
ISSN 2224-5227  
Volume 2.  
Number 358 (2026), 164–174

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.444>

UDC: 544.478  
IRSTI: 61.53.91

©Aubakirov Ye.<sup>1</sup>, Akhmetova F.<sup>2\*</sup>, Tashmukhambetova Zh.<sup>1</sup>, Toshtay K.<sup>1</sup>,  
Amantaiuly K.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan.

\*E-mail: [firuza.92@mail.ru](mailto:firuza.92@mail.ru)

## CONVERSION OF POLYMER WASTE INTO SYNTHETIC FUEL VIA MODIFICATION OF TAIZHUZHEN ZEOLITE WITH TUNGSTEN SALTS

**Aubakirov Yermek** — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: [miral.64@mail.ru](mailto:miral.64@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5405-4125>;

**Akhmetova Firuza** — PhD, Senior lecturer, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan,

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

**Tashmukhambetova Zheneta** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: [zheneta@mail.ru](mailto:zheneta@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4125-4114>;

**Toshtay Kainaubek** — PhD, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>;

**Amantaiuly Kanat** — PhD student, Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: [amantaiuly.kanat@gmail.com](mailto:amantaiuly.kanat@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

**Abstract.** In this work, new W(VI)-modified catalysts based on natural zeolite from the Taizhuzhen deposit in Kazakhstan were synthesized, and their efficiency in thermocatalytic hydrogenation of polymer wastes was systematically investigated. Widely available polyethylene and polypropylene wastes were used as the feedstock, while a heavy oil fraction (fuel oil) from the Kumkol deposit was introduced as an additive to improve the hydrocarbon balance of the process. The catalysts were pre-activated by an acid-free method, heat-treated at 100–500°C, and subsequently modified with 0.5% and 1.0% W(VI) concentrations. FTIR analysis revealed the formation of Lewis and Brønsted acid sites on the catalyst surface, which play a key role in hydrocarbon cracking and reformation reactions. It was found that the 0.5% W@Taijuzgen catalyst preferentially promotes the formation of light hydrocarbons (C<sub>5</sub>–C<sub>12</sub>), whereas the 1.0% W@Taijuzgen sample enhances the yield of heavier fractions (C<sub>10</sub>–C<sub>20</sub>). Gas chromatographic analysis showed that, in the presence of the 0.5% W



catalyst, aromatic hydrocarbons in the 0–180°C fraction reached 50.6%, while alkanes accounted for 22.95%. In contrast, for the 1.0% W sample, aromatics decreased to 39.3%, whereas alkanes increased to 38.96%. These results confirm that the tungsten content directly influences the group composition of the products. Overall, the study highlights the effectiveness and industrial potential of catalytic recycling of polymer wastes into valuable motor fuel fractions.

**Keywords:** polymer waste, catalyst, Taizhuzgen zeolite, tungsten, thermocatalytic hydrogenation, liquid fuel

**Financing.** *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713351 "Development of highly efficient catalytic technology for the complex processing of carbon-containing waste into energy resources and demanded products").*

**For citations:** Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K. Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 164–174. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.444>

©Аубакиров Е.<sup>1</sup>, Ахметова Ф.<sup>2\*</sup>, Ташмухамбетова Ж.<sup>1</sup>, Тоштай Қ.<sup>1</sup>,  
Амантайұлы Қ.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,  
Орал, Қазақстан.

\*E-mail: [firuza.92@mail.ru](mailto:firuza.92@mail.ru)

## ТАЙЖҮЗГЕН ЦЕОЛИТІН ВОЛЬФРАМ ТҰЗДАРЫМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫН СИНТЕТИКАЛЫҚ ОТЫНҒА ТҮРЛЕНДІРУ

**Аубакиров Ермек** — химия ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: [miral.64@mail.ru](mailto:miral.64@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5405-4125>;

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

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

**Ташмухамбетова Женета** — химия ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: [zheneta@mail.ru](mailto:zheneta@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4125-4114>;

**Тоштай Қайнаубек** — PhD, қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: [kainaubek.toshtay@gmail.com](mailto:kainaubek.toshtay@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>;

**Амантайұлы Канат** — PhD докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: [amantaiuly.kanat@gmail.com](mailto:amantaiuly.kanat@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.



**Аннотация.** Бұл жұмыста Қазақстандағы Тайжүзген кен орнынан алынған табиғи цеолит негізінде W(VI) тұзымен модифицирленген жаңа катализаторлар синтезделіп, олардың полимер қалдықтарын термокаталитикалық гидрогенизациялау процесіндегі тиімділігі жан-жақты зерттелді. Бастапқы шикізат ретінде кең таралған полиэтилен және полипропилен қалдықтары пайдаланылды, ал процестің көмірсутектік балансын жақсарту мақсатында қосымша ретінде Құмкөл кен орнынан алынған ауыр мұнай фракциясы – мазут тиімді түрде қолданылды. Катализаторлар алдын ала қышқылсыз әдіспен активтеліп, 100–500°C температура аралығында термиялық өңдеуден өткізілді, кейін 0,5% және 1,0% W(VI) концентрацияларымен модификацияланды. Катализаторлардың құрылымдық және функционалдық қасиеттері FTIR спектроскопиясы арқылы зерттелді, нәтижесінде олардың бетінде Льюис және Бренстед қышқыл орталықтарының қалыптасқаны анықталды. Бұл орталықтар көмірсутек тізбектерінің ыдырау және қайта түзілу реакцияларында негізгі рөл атқаратыны дәлелденді. 0,5% W@Тайжүзген катализаторы жеңіл көмірсутектердің ( $C_5$ – $C_{12}$ ) түзілуін тиімді қамтамасыз етсе, 1,0% W@Тайжүзген үлгісі ауыр фракциялардың ( $C_{10}$ – $C_{20}$ ) түзілуін күшейтетіні анықталды. Газдық хроматографиялық талдау нәтижелері 0,5% W катализаторы қатысында 0–180°C фракциясында ароматты көмірсутектердің үлесі 50,6%, ал алкандардың үлесі 22,95% болғанын көрсетті. Ал 1,0% W үлгісінде ароматты көмірсутектердің мөлшері 39,3%-ға дейін төмендеп, алкандардың үлесі 38,96%-ға артты. Бұл катализатор құрамындағы вольфрам мөлшерінің өнімнің топтық құрамына тікелей әсер ететінін дәлелдейді. Зерттеу нәтижелері полимер қалдықтарын құнды мотор отыны фракцияларына айналдырудың тиімді технологиясын ұсына отырып, ресурс үнемдеуге бағытталған каталитикалық қайта өңдеу әдістерінің жоғары перспективалылығын және өнеркәсіптік қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** полимер қалдықтары, катализатор, Тайжүзген цеолиті, вольфрам, термокаталитикалық гидрогенизация, сұйық отын

©Аубакиров Е.<sup>1</sup>, Ахметова Ф.<sup>2\*</sup>, Ташмухамбетова Ж.<sup>1</sup>, Тоштай К.<sup>1</sup>,  
Амантайұлы К.<sup>1</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангирхана,  
Уральск, Казахстан;

<sup>2</sup>Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Отемисулы,  
Уральск, Казахстан.

\*E-mail: fruzu.92@mail.ru

## КОНВЕРСИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В СИНТЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ ЦЕОЛИТА ТАЙЖУЗГЕН СОЛЯМИ ВОЛЬФРАМА

Аубакиров Ермек — доктор химических наук, профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
E-mail: miral.64@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5405-4125>;



**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>;

**Ташмухамбетова Женета** — кандидат химических наук, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
E-mail: zheneta@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4125-4114>;

**Тоштай Кайнаубек** — PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
E-mail: kainaube.k.tohtay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>;

**Амантайұлы Канат** — PhD докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
E-mail: amantaiuly.kanat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

**Аннотация.** В работе синтезированы и исследованы катализаторы на основе природного цеолита месторождения Тайжузген (Казахстан), модифицированные соединениями вольфрама (VI), для термокаталитической переработки полимерных отходов в жидкие углеводородные продукты. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных технологий утилизации пластиковых отходов и получения альтернативных источников моторного топлива. В качестве исходного сырья использовали отходы полиэтилена и полипропилена. Для оптимизации углеводородного баланса процесса в реакционную смесь вводили тяжёлую нефтяную фракцию - мазут месторождения Кумколь. Природный цеолит предварительно активировали бескислотным методом, подвергали термообработке в интервале температур 100–500 °C, после чего модифицировали вольфрамом в концентрациях 0,5 и 1,0 мас.%. Структурные особенности и кислотные свойства полученных катализаторов изучали методом ИК-спектроскопии. Установлено формирование кислотных центров Брэнстеда и Льюиса, играющих ключевую роль в реакциях крекинга и риформинга углеводородных цепей. Показано, что катализатор 0,5% W@Taijuzgen способствует преимущественному образованию лёгких углеводородных фракций C<sub>5</sub>–C<sub>12</sub>, тогда как увеличение содержания вольфрама до 1,0% приводит к росту выхода более тяжёлых соединений C<sub>10</sub>–C<sub>20</sub>. По данным газохроматографического анализа, при использовании катализатора с содержанием 0,5% W доля ароматических углеводородов во фракции 0–180 °C составила 50,6 %, а содержание алканов - 22,95 %. Для образца с 1,0% W содержание ароматических соединений уменьшилось до 39,3 %, тогда как доля алканов возросла до 38,96 %. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии концентрации вольфрама на групповой состав образующихся продуктов. Проведённые исследования подтверждают высокую эффективность модифицированных цеолитных катализаторов и демонстрируют перспективность их применения для ресурсосберегающей переработки полимерных отходов в ценные компоненты моторных топлив.

**Ключевые слова:** полимерные отходы, катализатор, цеолит Тайжузген, вольфрам, термокаталитическое гидрирование, жидкое топливо

**Кіріспе.** Қазіргі уақытта жаһандық қажеттілікті қамтамасыз ету үшін жыл сайын 100 миллион тоннадан астам пластмасса өндіріледі (Al-Salem et al., 2017). Мұндай ауқымды өндіріс пен тұтыну қоршаған ортаға айтарлықтай қауіп төндіреді, себебі пластиктің табиғи жағдайда ыдырауы өте баяу жүріп, ондаған жылдарға созылады. Пластикалық материалдарға деген сұраныстың үздіксіз өсуі дамыған және дамушы мемлекеттерде қатты тұрмыстық қалдықтардың құрамында пластик үлесінің артуына алып келуде (Saxena et al., 2017). Пластмассалар негізінен мұнайдан алынатын өнім болғандықтан, оларды термиялық немесе каталикалық өңдеу арқылы қайтадан бағалы химиялық қосылыстарға айналдыруға мүмкіндік бар. Осы тұрғыдан алғанда, химиялық қайта өңдеу әдістері пластик қалдықтарының құрылымын өзгертіп, оларды тиімді басқарудың маңызды құралы болып табылады. Мұндай тәсілдер қатарына гликолиз, гидролиз, пиролиз, аминализ, газдандыру және гидрогенизация процестері жатады (Nazrat et al., 2015). Бұл технологиялар нәтижесінде алынатын өнімдердің құндылығы жоғары болып келеді.

Гидрокрекинг процесінде катализаторлардың маңызы ерекше, себебі олар реакцияның жүру температурасын төмендетіп, сұйық өнімдердің шығымын және селективтілігін арттырады, сонымен қатар алынатын өнімнің сапасын жақсартады. Әдеби деректерде гидротазалау, крекинг және гидрокрекинг процестерінде әртүрлі қышқылдық қасиеті бар катализаторлардың қолданылуы жан-жақты зерттелген (Serrano et al., 2012).

Полиолефиндердің 400–550 °C аралығында каталикалық крекингі катализаторсыз жүргізілетін таза термиялық ыдыраумен салыстырғанда мүлде өзгеше құрамдағы көмірсутек қоспаларын түзеді (Munir et al., 2018). Бұл айырмашылық крекинг механизмдерінің табиғатына байланысты. Термиялық крекинг еркін радикалдар арқылы жүретін тізбекті реакциялармен сипатталады, нәтижесінде полимер тізбектері көптеген фрагменттерге ыдырап, көмірсутектердің кең спектрі түзіледі. Мұндай өнімдер құрамында негізінен n-парафиндер, 1-алкендер және алкадиендер болады. Сонымен қатар, радикалдардың қайта құрылуы шектеулі болғандықтан, тармақталған өнімдер аз мөлшерде түзіледі.

Термиялық крекинг барысында, мысалы, жоғары тығыздықты полиэтиленнен (ПНД) C1–C60 аралығындағы көмірсутектердің кең диапазоны алынады (Onwudili et al., 2009). Температура артқан сайын төмен молекулалы өнімдердің үлесі көбейеді. Ал ароматты қосылыстардың мөлшері 400–500 °C аралығында аз болғанымен, температураны жоғарылату және пиролиз газын қайта айналымға енгізу арқылы олардың үлесін арттыруға болады.

Қатты қышқылдық қасиеті бар катализаторларды қолдану арқылы полиолефин қалдықтарын отынға айналдыру технологиялары соңғы жылдары үлкен қызығушылық тудырып отыр. Бұл бағытта зертханалық деңгейден бастап өнеркәсіптік ауқымға дейінгі әртүрлі процестер әзірленген. Процестің тиімділігі көп жағдайда қолданылатын катализатордың қасиеттеріне тәуелді, өйткені олар реакция температурасын төмендетіп, молекулалық таралуы тар өнімдер алуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты полиолефиндердің каталитикалық крекингінде цеолиттер, кремнезем-глинозем жүйелері және мезокұрылымды материалдар кеңінен зерттелуде (Escola et al., 2011; Munir et al., 2017). Зерттеулер нәтижесінде жоғары қышқылдық орталықтары бар катализаторларды қолдану қажеттілігі анықталған, себебі ірі молекулалы полимерлер цеолиттің микрокеуектерінде диффузиялық шектеулер туындатуы мүмкін.

Соңғы зерттеулерде алғаш рет Қазақстандағы Тайжүзген кен орнынан алынған табиғи цеолит негізінде катализаторлар әзірленіп, олар пластикалық қалдықтарды термокаталитикалық гидрогенизациялау процесінде қолданылды (Aubakirov et al., 2019). Полимер қалдықтарын өңдеу арқылы құнды көмірсутектер мен отындық өнімдер алу мүмкіндігі дәлелденді. Бұл жұмыста ресурс үнемдеуші технологияларды дамыту мақсатында қышқылсыз активтелген Тайжүзген цеолитіне молибден иондарын әртүрлі мөлшерде енгізу арқылы катализаторлар синтезделді. Алынған катализаторлардың қатысуымен полимер қалдықтарын термокаталитикалық гидрогенизациялау нәтижесінде мотор отыны фракцияларын алу мүмкіндігі қарастырылды. Жалпы алғанда, өндірістік және тұрмыстық полимер қалдықтарын екінші реттік шикізат ретінде пайдалану бағыттарының бірі – көмірсутек фракцияларын термиялық және каталитикалық түрлендіру арқылы жоғары сапалы отын алу болып табылады (Lange and Ferreira, 2017).

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Зерттеу барысында бастапқы шикізат ретінде пластикалық қалдықтар қолданылды, олардың негізгі бөлігін полиэтилен (ПЭ) мен полипропилен (ПП) құрады (негізінен пластик бөтелкелердің қақпақтары). Қосымша компонент ретінде паста түзуші әрі сутек пен көміртекке бай шикізат көзі ретінде Құмкөл кен орнынан алынған, 350°C-тан жоғары температурада мұнайды өңдеу нәтижесінде түзілген мазут пайдаланылды.

Катализатор ретінде Тайжүзген кен орнынан алынған табиғи цеолит негізінде дайындалған материалдар қолданылды. Цеолит алдын ала  $1\text{M NH}_4\text{Cl}$  ерітіндісімен қышқылсыз түрде активтеліп, 100–500°C температура аралығында термиялық өңдеуден өткізілді. Кейіннен ол вольфрам (VI) тұзымен  $(\text{NH}_4)_5\text{H}_5[\text{H}_2(\text{WO}_4)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$  әртүрлі концентрацияларда (0,5% және 1,0%) модификацияланып, W(VI)/цеолит типті катализаторлар алынды.

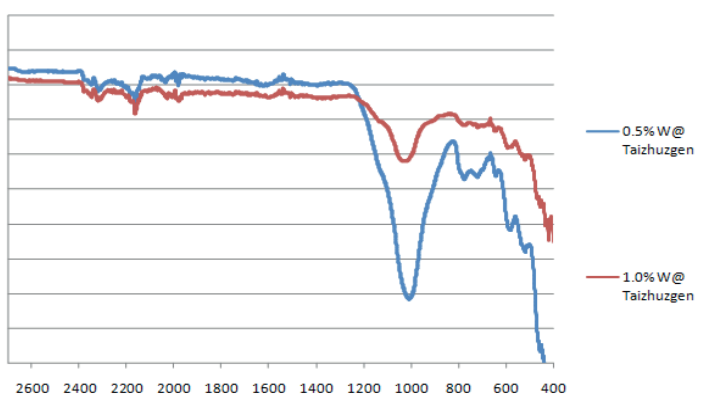
Катализатор мен тасымалдағыш ретінде табиғи «Тайжүзген» цеолитін қолдану бірқатар артықшылықтарға ие. Табиғи алюмосиликаттардың қолжетімділігі мен салыстырмалы түрде төмен құны, сондай-ақ олардың жоғары активтілігі мен селективтілігі бұл материалдарды экономикалық тұрғыдан тиімді етеді. Осы себепті зерттеу жұмысында дәл осы табиғи цеолит таңдалды.

Алынған өнімдердің құрамын анықтау мақсатында масс-спектрометриялық детектормен жабдықталған газды хроматография әдісі (Agilent 6890N/5973N) қолданылды. Талдау 0,2 мкл көлемдегі үлгі үшін, ағын диаметрі 500 мкм жағдайында жүргізілді. Бөліну процесі HP-INNOWax (Agilent, АҚШ) капиллярлық колонкасында (30 м × 0,25 мм, қабықша қалыңдығы 0,25 мкм) жүзеге асырылды. Буландырғыш температурасы 240°C болды, ал колонка термостаты бастапқыда 50°C-та (5 минут) ұсталып, кейін 240°C-қа дейін жеткізіліп, 10 минут сақталды.

Жалпы талдау ұзақтығы 34 минутты құрады. Иондарды тіркеу диапазоны  $m/z$  10–350 аралығында жүргізілді.

Катализаторлардың құрылымдық және беттік сипаттамаларын зерттеу үшін электрондық микроскопия әдістері қолданылды. Үлгілердің морфологиясы JEOL JSM 6460LV сканерлеуші электрондық микроскопында зерттелді. Сонымен қатар, энергодисперстік спектроскопия (EDS) әдісі арқылы INCA жүйесінде катализаторлардың элементтік құрамы анықталды.

**Нәтижелер.** 0,5% W@Тайжүзген және 1,0% W@Тайжүзген катализаторларының құрылымдық ерекшеліктері Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR) әдісімен зерттелді. 1-суретте көрсетілгендей, алынған спектрлерде 400–1200  $\text{см}^{-1}$  аралығында цеолит қаңқасына тән негізгі жұтылу жолақтары байқалады. Атап айтқанда, 1000–1100  $\text{см}^{-1}$  аймағындағы қарқынды жолақ Si–O–Si және Al–O–Si байланыстарының асимметриялық валенттік тербелістеріне сәйкес келеді, бұл алюмосиликатты құрылымның сақталғанын көрсетеді.



Сурет 1. 0,5% W@Тайжүзген және 1,0% W@Тайжүзген композитті катализаторларының FTIR спектрлері.

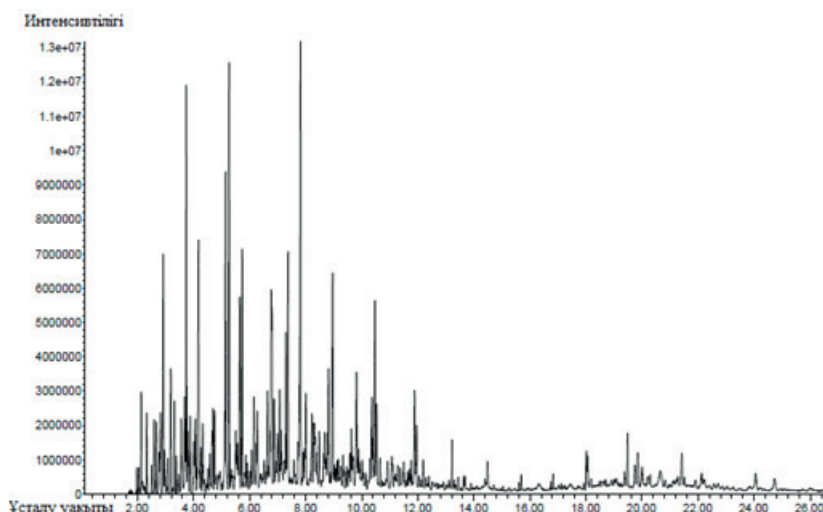
0,5% W@Тайжүзген үлгісінде осы аймақтағы жолақтың жоғары қарқындылығы цеолит құрылымының жақсы кристалданғанын және қышқыл орталықтардың жеткілікті мөлшерде екенін білдіреді. Ал 1,0% W@Тайжүзген катализаторында бұл жолақтың салыстырмалы түрде әлсіреуі вольфрам мөлшерінің артуына байланысты цеолит қаңқасының ішінара модификациялануымен немесе аморфтануымен түсіндіріледі.

800–900  $\text{см}^{-1}$  аралығында байқалатын жолақтар сыртқы құрылымдық тербелістерге және сакина құрылымдарының деформациялық тербелістеріне сәйкес келеді. Сонымен қатар, 600–800  $\text{см}^{-1}$  аймағындағы жұтылу жолақтары W–O және мүмкін болатын W–O–Si байланыстарының түзілуін көрсетеді, бұл вольфрамның цеолит құрылымына енгізілгенін дәлелдейді. Төмен жиілікті 450–500  $\text{см}^{-1}$  аймағындағы жолақтар алюмосиликат қаңқасының иілу тербелістеріне тән. Бұл жолақтардың сақталуы цеолиттің негізгі құрылымы модификациядан кейін де толық бұзылмағанын көрсетеді.

Спектрлерді салыстыру нәтижесінде, вольфрам мөлшерінің артуы қышқыл орталықтардың табиғаты мен таралуына әсер ететіні анықталды. Льюис типті қышқыл орталықтардың түзілуі катализатордың көмірсутек тізбектерін ыдырату белсенділігін арттырады. Ал протонды (Бренстед) орталықтардың болуы изомерлену және крекинг процестерін күшейтеді.

Алынған FTIR нәтижелері Тайжүзген цеолитін вольфраммен модификациялаудың оның құрылымдық және каталитикалық қасиеттерін жақсартып, полимер қалдықтарын тиімді өңдеуге мүмкіндік беретініне дәлел болды.

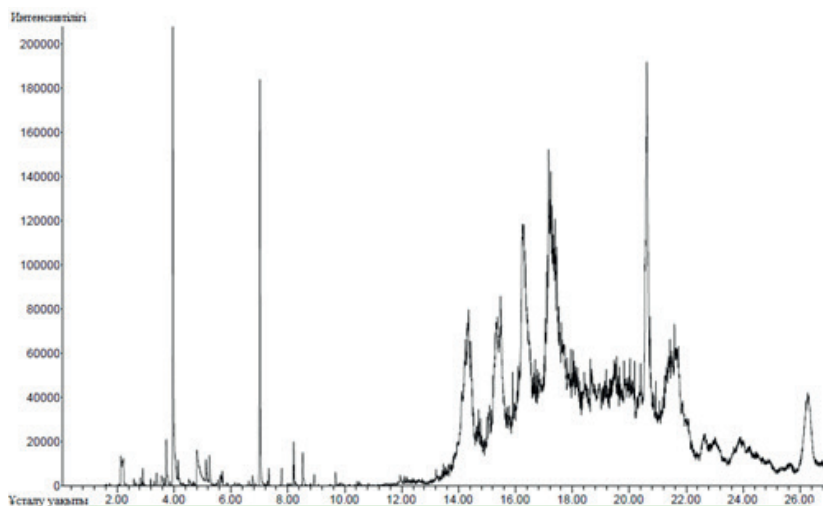
Полимер қалдықтарын термокатализдік гидрогенизациялау арқылы алынған сұйық өнімдердің химиялық құрамы мен компоненттік таралуын анықтау мақсатында газдық хроматография әдісі қолданылды. 2 және 3-суреттерде көрсетілгендей, алынған хроматограммаларда әртүрлі көмірсутек қосылыстарына сәйкес келетін көптеген шыңдар байқалады, бұл сұйық өнімнің күрделі көпкомпонентті құрамын дәлелдейді.



Сурет 2. 0,5% W@Тайжүзген композитті катализаторы қатысында полимер қалдықтарын термокатализдік гидрогенизациялау нәтижесінде алынған (қайнау температурасы 180 °C-қа дейінгі) сұйық өнімнің газды хроматограммасы.

2-суретте (0,5% W@Тайжүзген катализаторы) хроматограммада төмен ұсталу уақыттарында (2–10 мин) жоғары қарқындылықтағы көптеген шыңдардың болуы жеңіл көмірсутектердің, негізінен  $C_5$ – $C_{12}$  аралығындағы парафиндер мен изопарафиндердің басым екенін көрсетеді. Бұл катализатордың крекинг белсенділігі жоғары екенін және полимер тізбектерінің тиімді түрде ыдырайтынын білдіреді. Сонымен қатар, орташа ұсталу уақыттарында (10–18 мин) байқалатын шыңдар нафтендік және ароматты көмірсутектердің түзілуін көрсетеді.





Сурет 3. 1,0% W@Тайжүзген композитті катализаторы қатысында полимер қалдықтарын термokatалитикалық гидрогенизациялау нәтижесінде алынған (қайнау температурасы 180 °C-қа дейінгі) сұйық өнімнің газды хроматограммасы.

3-суретте (1,0% W@Тайжүзген катализаторы) хроматографиялық профильдің сипаты өзгеше: негізгі шыңдар 12–22 мин аралығында шоғырланған және қарқындылығы жоғары, бұл салыстырмалы түрде ауырлау көмірсутек фракцияларының ( $C_{10}$ – $C_{20}$ ) түзілуінің артқанын көрсетеді. Сонымен қатар, жеңіл фракциялар үлесінің азаюы катализатор құрамындағы вольфрам мөлшерінің артуымен байланысты, яғни бұл жағдайда крекинг тереңдігі төмендеп, өнімнің молекулалық массасы жоғарылайды.

Екі катализаторды салыстыру нәтижесі көрсеткендей, 0,5% W@Тайжүзген үлгісі жеңіл көмірсутектердің түзілуіне тиімді болса, 1,0% W@Тайжүзген катализаторы ауыр фракциялардың түзілуін күшейтетіндігі анықталды. Бұл катализатор құрамының, атап айтқанда вольфрам мөлшерінің, өнімнің сапалық және сандық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететінін дәлелдейді.

Газды хроматографиялық талдау нәтижелері полимер қалдықтарын термokatалитикалық гидрогенизациялау барысында алынған сұйық өнімдердің құрамының катализатор табиғатына тәуелді екенін көрсетіп, алынған көмірсутектердің мотор отындарының компоненттері ретінде қолдануға жарамды екенін растады.

0,5% және 1,0% W@Тайжүзген катализаторлары қатысында полимерлі қалдықтарды термokatалитикалық гидрогенизациялау нәтижесінде алынған бензин фракцияларының көмірсутектік құрамдарының топтық үлестері 1 және 2-кестелерде көрсетілген.

Кесте 1. 0,5% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған бензин фракциясының топтық көмірсутектік құрамы, %.

| Сұйық фракция құрамы | Көмірсутектер, % |          |       |            |            |                     |
|----------------------|------------------|----------|-------|------------|------------|---------------------|
|                      | Алкан            | Изоалкан | Алкен | Циклоалкан | Циклоалкен | Ароматты көмірсутек |
| 0-180°C              | 22,95            | 6,36     | 0     | 16,63      | 3,46       | 50,6                |
| 180-250°C            | 29,92            | 5,19     | 0     | 2,62       | 0          | 62,27               |
| 250-320°C            | 41,61            | 0        | 8,73  | 4,08       | 0          | 45,58               |

1-кестеден көрініп тұрғандай, 0,5% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған 0–180°C фракциясында ароматты көмірсутектердің үлесі 50,6% болса, алкан мен изоалкандардың жалпы көлемі 29,31% құрайды. 180–250°C фракциясында ароматтар тағы да басымдылық танытып (62,27%), ал 250–320°C аралығында алкандардың үлесі артатындығы байқалады (41,61%). Бұл катализатор көмірсутектердің ароматтану және крекинг реакцияларының тепе-теңдігіне ықпал етеді.

Кесте 2. 1,0% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған бензин фракциясының топтық көмірсутектік құрамы, %.

| Сұйық фракция құрамы | Көмірсутектер, % |          |       |            |            |                     |
|----------------------|------------------|----------|-------|------------|------------|---------------------|
|                      | Алкан            | Изоалкан | Алкен | Циклоалкан | Циклоалкен | Ароматты көмірсутек |
| 0-180°C              | 38,96            | 5,9      | 0     | 15,84      | 0          | 39,3                |
| 180-250°C            | 26,85            | 4,93     | 0     | 2,95       | 2,07       | 63,2                |
| 250-320°C            | 38,4             | 3,55     | 3,27  | 0,43       | 0,38       | 53,97               |

2-кестеде 1,0% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған өнімнің құрамында алкандардың үлесі 0–180°C аралығында айтарлықтай жоғары (38,96%) және ароматтардың мөлшері аздап төмендегені (39,3%) байқалады. 180–250°C фракциясында ароматты көмірсутектердің үлесі 63,2%-ға жетіп, 250–320°C аралығында да (53,97%) басым болып тұр. Сонымен қатар, 1,0% W үлгісінде изоалкандар мен алкендердің мөлшері сәл артқан.

Осылайша, катализатордағы вольфрамның концентрациясы артқан сайын, өнімнің құрамындағы көмірсутектердің топтық қатынасы өзгеріп, ароматты және циклоалканды қосылыстардың үлесі аздап кеміп, алкандардың үлесі артады. Бұл катализаторлардың белсенділігі мен селективтілігінің өзгешелігін және реакцияның бағытына әсерін көрсетеді.

**Қорытынды.** Төмен қысым (0,5–0,6 МПа) жағдайында полимерлі қалдықтарды термокаталитикалық гидрогенизациялау үшін алғаш рет W(VI) тұзымен модифицирленген, қышқылсыз активтелген және 450°C-та күйдірілген Тайжүзген кен орны табиғи цеолиті катализатор ретінде қолданылды. Масс-спектрометриялық газдық хроматография нәтижелері бойынша 0,5% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған бензин фракциясының құрамында ароматты көмірсутектердің үлесі 0–180°C аралығында 50,6%, 180–250°C



фракциясында 62,27%, ал 250–320°C фракциясында 45,58% болды. Алкандардың үлесі сәйкесінше 22,95%, 29,92% және 41,61% құрады. 1,0% W@Тайжүзген катализаторы қатысында алынған өнімде 0–180°C фракциясында ароматты көмірсутектердің мөлшері 39,3% болса, ал алкандардың үлесі 38,96%-ға дейін артты. 180–250°C фракциясында ароматты қосылыстардың үлесі 63,2%-ға жетіп, 250–320°C аралығында 53,97% болды.

Нәтижелер көрсеткендей, катализатордағы вольфрамның концентрациясы өнім құрамына елеулі әсер етеді: вольфрам мөлшері артқан сайын ароматты көмірсутектердің үлесі сәл төмендеп, алкандық фракциялар көбейеді. FTIR талдау деректері бойынша катализаторларда Льюис қышқылдық орталықтар анықталды, бұл крекинг және ароматтану реакцияларының жоғары селективтілігін қамтамасыз етеді.

Алынған мәліметтер полимер қалдықтарын гидрогенизациялау арқылы синтетикалық мотор отындарын алу үшін ресурс үнемдеуге бағытталған технологияның тиімділігін дәлелдейді. 0,5–1,0% W@Тайжүзген катализаторлары қатысында өнімнің құрамында 0–320°C аралығында жалпы көмірсутектердің ароматты, алкандық және циклдык фракцияларының оптималды балансы байқалды, бұл коммерциялық масштабта қолдану перспективаларын көрсетеді.

### References

- Al-Salem S.M., et al. (2017) A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*. – No. 197. – P. 177-198. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.084 (in Eng.).
- Aubakirov Y.A., et al. (2019) Thermo-catalytic processing of polymer waste over catalysts on the basis of natural zeolite from the Tayzhuzgen field (Kazakhstan) modified by molybdenum. *Rasayan Journal of Chemistry*. – No. 12(4). – P. 1701-1709. DOI: 10.31788/RJC.2019.1245435 (in Eng.).
- Escola J.M., et al. (2011) Catalytic hydroreforming of the polyethylene thermal cracking oil over Ni supported hierarchical zeolites and mesostructured aluminosilicates. *Applied Catalysis B: Environmental*. – No. 106(3-4). – P. 405-415. DOI: 10.1016/j.apcatb.2011.05.048 (in Eng.).
- Hazrat M.A., Rasul M.G., Khan M.M.K. (2015) A study on thermo-catalytic degradation for production of clean transport fuel and reducing plastic wastes. *Procedia Engineering*. – No. 105. – P. 865-876. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.05.108 (in Eng.).
- Lange L.C., Ferreira A.F.M. (2017) The effect of recycled plastics and cooking oil on coke quality. *Waste Management*. – No. 61. – P. 269-275. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.08.039 (in Eng.).
- Munir D., et al. (2017) Hydrocracking of a plastic mixture over various micro-mesoporous composite zeolites. *Powder Technology*. – No. 316. – P. 542-550. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.01.037 (in Eng.).
- Munir D., Irfan M.F., Usman M.R. (2018) Hydrocracking of virgin and waste plastics: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – No. 90. – P. 490-515. DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.034 (in Eng.).
- Onwudili J.A., Insura N., Williams P.T. (2009) Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – No. 86(2). – P. 293-303. DOI: 10.1016/j.jaap.2009.07.008 (in Eng.).
- Saxena A., Sharma H., Rath G. (2017) Conversion of waste plastic to fuel: Pyrolysis – an efficient method: A review. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/313349450> (in Eng.).
- Serrano D.P., Aguado J., Escola J.M. (2012) Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals. *ACS Catalysis*. – No. 2(9). – P. 1924-1941. DOI: 10.1021/cs3003403 (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](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](http://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: June 22, 2026  
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.

---

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