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

CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER

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

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, 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%; https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489

Редакция ұжымы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат 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 Сергазы Мынжасарұлы, 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 Тілекқабыл 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 Сезаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979, https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768

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

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

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендіруұлы, 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), нанокұрылымды материалдарды 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-Фарабиатындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400, https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231

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

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

ACADEMIC JOURNALOF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

2026 • 3

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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 Сергазы 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), (Дэчон, Корея), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700, https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендирович, 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 Нургали Жабагаевич, 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

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109, 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 $SrTaO_2N$-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., Taiekenova 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 Aminothiazoles 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

Женісқан Қ., Беков С.С., Сыздыкова А.М.
Хаббл тұрақтысын реконструкциялауға Гаусстық процестер параметрлерінің әсері.....146

ХИМИЯ

Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев 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., Капсалямов Б.А.
Шиелі және Жаңақорған аудандарындағы уранды күкірт қышқылымен шаймалаудың жер асты суларына әсерінің гидрогеохимиялық көрсеткіштері.....183

Дарменбаева А.С., Аубакирова Р.А., Нургалиева 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 SrTiO3 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 флокулянтын алу және зерттеу.....276

Курмангалиева А.1, Ахметова Ф., Карешова Ж., Искаков Р.
Көмірсутектердің каталитикалық конверсиясы арқылы сутек алуға арналған ПДМА-модификацияланған таған бентониті.....292

Куртебаева 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., Сыздыков 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., Жумабек 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., Кусаинова Г., Жүрсімбаева М., Мохамад Ибрагим М.Н., Әбдиев Қ.
Итакон қышылы негізіндегі сополимерлердің флокуляциялық қасиеттерін зерттеу.....448

Сергазина С.М., Нұрмұханбетова Н.Н., Острецова И.Б., Камзе А.Р., Касенова Н.Б.
Табиғи ауыз су сапасын кешенді бағалау және физика-химиялық көрсеткіштерге
статистикалық талдау.....460

Талгатқызы Ә., Нажипқызы М., Өтенов Ә., Сейтқазинова 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 күкірткұрамды
композиттердің синтезі, құрылымы және физика-химиялық қасиеттері.....498

Ешманова Г.Б., Смагулов 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 амино-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 $SrTaO_2N$.....33

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.
Современные методы селективного выщеличевания 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 Ү.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., Айтуреев 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., Абильмажинова 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 SrTiO3 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 противоинфекционное средство.....252

Қамұнұр Қ., Ысқақ М., Мусапирова Л.
Влияние химической модификации лигносульфоната натрия на его флотационные
свойства в системе барит–кальцит.....264

Кононов А., Қамұнұр Қ., Мусапирова Л., Асылханова Д., Батқал А.
Получение и исследование неорганического флокулянта Al–Fe–Mn на основе
модифицированного бентонита.....276

Курмангалиева А., Ахметова Ф., Карешова Ж., Искаков Р.
ПДМА-модифицированный таганский бентонит для получения водорода при
каталитической конверсии углеводородов.....292

Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Noor Haida Mohd Kaus., Gomes H.T., 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., Тайекенова 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., Жумабек 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
обогатительной 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., Острецова 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., Паньшина С.Ю., Сейдахметова Р.Б.
N-фосфорилирование аминотиазолов и амино-тиадиазолов с помощью реагентов P(III) и
P(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), 205-222

https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.471

UDC: 678.7:620.18
IRSTI: 61.31.51

©Darmenbayeva A.S.[1]*, Aubakirova R.A.[2], Nurgaliyeva D.A.[3], Abylkassova G.E.[2], Abilmazhinova G.A.[2], 2026.

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan;
[2]S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;
[3]Astana International University, Astana, Kazakhstan.
*E-mail: maral88.ad@gmail.com

STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF POLYMER–METAL FUNCTIONAL MATERIALS

Darmenbayeva Akmaral — PhD, M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan,
E-mail: maral88.ad@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2974-0398;
Aubakirova Roza — Candidate of Chemical Sciences, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
E-mail: roza.aubakirova@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-9403-1104;
Nurgaliyeva Damen — Candidate of Pedagogical Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: nurgalieva0109@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-5756-1795;
Abylkassova Gulsim — Candidate of Chemical sciences, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
E-mail: Abylkassova@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-6445-4625;
Abilmazhinova Gaukhar — Master of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
E-mail: ms.gaukar70@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-2547-1943.

Abstract. Polymer-metal functional materials are of significant interest to modern materials science due to the possibility of regulating their structural organization by combining a polymer modifier, an oxide support, and transition metals. The morphology of multicomponent systems is largely determined by the nature of the metal component; however, the patterns of its influence on the surface organization of such materials require further study. The aim of this study was to investigate and comparatively evaluate the structural and morphological features of Ni-Mo-PEG/Al_2O_3 and Co-Mo-PEG/Al_2O_3 polymer-metal functional materials. The materials were obtained using an aluminum-containing support modified with polyethylene glycol, followed by the introduction of the corresponding metal-containing components. The surface morphology was studied using scanning electron microscopy, and the elemental

composition was determined using energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). It was established that both systems are characterized by a complex heterogeneous surface organization and a combination of structural elements of varying shapes and degrees of aggregation. Ni-Mo-PEG/Al_2O_3 is characterized by the presence of aggregated, finely dispersed, and lamellar formations, creating a heterogeneous surface relief. Co-Mo-PEG/Al_2O_3 exhibits more pronounced lamellar and faceted structures, complemented by elongated, needle-like, and rod-shaped microformations. EDS analysis confirmed the presence of the target metal components in both systems, along with elements of the aluminum-containing base. Comparative analysis revealed that, while maintaining the general fabrication scheme, the nature of the support, and the same polymer modifier, replacing nickel with cobalt alters the nature of the material's surface organization. The obtained results indicate a significant role for the nature of the transition metal in shaping the morphological profile of multicomponent polymer-metal systems. The identified features expand our understanding of the factors that shape their structure and can serve as the basis for further targeted regulation of the morphological characteristics of functional materials by varying the composition of the metal component.

Keywords: polymer-metal materials, polyethylene glycol, surface morphology, functional materials, polymer modification

For citations: *Darmenbayeva A.S., Aubakirova R.A. Nurgaliyeva D.A., Abylkassova G.E., Abilmazhinova G.A. Structural and Morphological Features of Polymer–Metal Functional Materials. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.3. Pp. 205-222. DOI: https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.471*

©Дарменбаева А.С.[1]*, Аубакирова Р.А.[2], Нургалиева Д.А.[3], Абылкасова Г.Е.[2], Абильмажинова Г.А.[2], 2026.

[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан;
[2]С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан;
[3]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан.
*E-mail: maral88.ad@gmail.com

ПОЛИМЕР-МЕТАЛЛ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Дарменбаева Ақмарал — PhD, М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,
E-mail: maral88.ad@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2974-0398;
Аубакирова Роза — химия ғылымдарының кандидаты, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан,
E-mail: roza.aubakirova@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-9403-1104;
Нургалиева Дамен — педагогика ғылымдарының кандидаты, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
E-mail: nurgalieva0109@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-5756-1795;
Абылкасова Гульсим — химия ғылымдарының кандидаты, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан,

E-mail: Abylkassova@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-6445-4625;
Абилмажинова Гаухар — химия магистрі, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан,
E-mail: ms.gaukar70@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-2547-1943.

Аннотация. Полимер-металл функционалды материалдары қазіргі заманғы жаңа материалды жасау үшін полимерлі модификаторды, оксидтік тасымалдағыштарды және ауыспалы металдарды біріктіру арқылы олардың құрылымдық ұйымдасуын реттеу мүмкіндігіне байланысты үлкен қызығушылық тудырады. Көп компонентті жүйелердің морфологиясы көбінесе металл компонентінің табиғатымен анықталады; дегенмен, оның мұндай материалдардың беттік ұйымдасуына әсер ету заңдылықтары одан әрі зерттеуді қажет етеді. Бұл зерттеудің мақсаты Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 полимер-металл функционалды материалдарының құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктерін зерттеу және салыстырмалы түрде бағалау болды. Материалдар полиэтиленгликольмен модификацияланған алюминий құрамдас тасымалдаушы көмегімен алынды, содан кейін тиісті металл құрамдас компоненттер енгізілді. Беттік морфология сканерлеуші электронды микроскопия, ал элементтік құрамы энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) көмегімен зерттелді. Екі жүйе де күрделі гетерогенді беттік ұйымдасумен және әртүрлі пішіндегі және агрегация дәрежесіндегі құрылымдық элементтердің үйлесімімен сипатталатыны анықталды. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 агрегацияланған, ұсақ дисперсті және пластиналы түзілімдердің болуымен сипатталады, бұл гетерогенді беттік бедерді құрайды. Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 созылған, ине тәрізді микротүзілімдермен толықтырылған айқынырақ пластиналы және қырлы құрылымдарды көрсетеді. EDS талдауы екі жүйеде де алюминий құрамдас негіз элементтерімен қатар мақсатты металл компоненттерінің болуын растады. Салыстырмалы талдау алу схемасын, тасымалдаушының сипатын және полимерлі модификаторды сақтай отырып, никельді кобальтпен ауыстыру материалдың беттік ұйымдасу сипатын өзгертетінін көрсетті. Алынған нәтижелер көп компонентті полимер-металл жүйелерінің морфологиялық профилін қалыптастыруда ауыспалы металл табиғатының маңызды рөлін көрсетеді. Анықталған ерекшеліктер олардың құрылымын қалыптастыратын факторлар туралы түсінікті кеңейтеді және металл компонентінің құрамын өзгерту арқылы функционалды материалдардың морфологиялық сипаттамаларын одан әрі мақсатты реттеу үшін негіз бола алады.

Түйін сөздер: полимер-металл материалдары, полиэтиленгликоль, беттік морфология, функционалдық материалдар, полимермен модификациялау

©Дарменбаева А.С.[1]*, Аубакирова Р.А.[2], Нургалиева Д.А.[3], Абылкасова Г.Е.[2], Абильмажинова Г.А.[2], 2026.

[1]Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;
[2]Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан;
[3]Международный университет Астана, Астана, Казахстан.
*E-mail: maral88.ad@gmail.com

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дарменбаева Акмарал — PhD, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,
E-mail: maral88.ad@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2974-0398;
Аубакирова Роза — кандидат химических наук, Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,
E-mail: roza.aubakirova@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-9403-1104;
Нургалиева Дамен — кандидат педагогических наук, Международный университет, Астана, Казахстан,
E-mail: nurgalieva0109@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-5756-1795;
Абылкасова Гульсим — кандидат химических наук, Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,
E-mail: Abylkassova@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-6445-4625;
Абилмажинова Гаухар — магистр химии, Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,
E-mail: ms.gaukar70@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-2547-1943.

Аннотация. Полимер-металлические функциональные материалы представляют значительный интерес для современного материаловедения благодаря возможности регулирования их структурной организации путем сочетания полимерного модификатора, оксидного носителя и переходных металлов. Особенности формирования морфологии многокомпонентных систем во многом определяются природой металлической составляющей, однако закономерности ее влияния на поверхностную организацию подобных материалов требуют дальнейшего изучения. Целью работы являлось исследование и сравнительная оценка структурно-морфологических особенностей полимер-металлических функциональных материалов Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 и Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3. Материалы получали на основе алюминийсодержащего носителя, модифицированного полиэтиленгликолем, с последующим введением соответствующих металлсодержащих компонентов. Морфологию поверхности исследовали методом сканирующей электронной микроскопии, элементный состав определяли методом энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS). Установлено, что обе системы характеризуются сложной гетерогенной организацией поверхности и сочетанием структурных элементов различной формы и степени агрегирования. Для Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 характерно присутствие агрегированных, мелкодисперсных и пластинчатых образований, формирующих неоднородный поверхностный рельеф. В Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 более отчетливо

проявляются крупные пластинчатые и ограненные структуры, дополненные вытянутыми, игольчатыми и стержнеобразными микрообразованиями. EDS-анализ подтвердил присутствие целевых металлических компонентов в составе обеих систем наряду с элементами алюминийсодержащей основы. Сравнительный анализ показал, что при сохранении общей схемы получения, природы носителя и одинакового полимерного модификатора замена никеля кобальтом сопровождается изменением характера поверхностной организации материала. Полученные результаты указывают на существенную роль природы переходного металла в формировании морфологического профиля многокомпонентных полимер-металлических систем. Установленные особенности расширяют представления о факторах их структурообразования и могут служить основой для дальнейшего направленного регулирования морфологических характеристик функциональных материалов при варьировании состава металлической составляющей.

Ключевые слова: полимер-металлические материалы, полиэтиленгликоль, морфология поверхности, функциональные материалы, полимерная модификация

Кіріспе. Полимер-металл функционалды материалдары полимер матрицасының механикалық тұрақтылығын металл компоненттерінің бірегей физика-химиялық қасиеттерімен біріктіру мүмкіндігінің арқасында қазіргі заманғы жаңа материал жасау саласында ең қарқынды дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады. Мұндай материалдарды жасаудың заманауи тәсілдері тек әртүрлі компоненттердің механикалық байланысына ғана емес, сонымен қатар полимер тізбектері мен металл иондары арасындағы тұрақты үйлестіру өзара әрекеттесулерін қалыптастыруға негізделген, бұл материалдың құрылымын молекулалықтан микроқұрылымға дейін әртүрлі масштабта мақсатты басқаруға мүмкіндік береді. Соңғы жылдары мұндай материалдар жоғары құрылымдық тұрақтылығына, беттік морфология мен текстуралық сипаттамаларды басқару мүмкіндігіне және химиялық модификация әдістерінің кең ауқымына байланысты әртүрлі қолданбаларға арналған функционалды жүйелерді әзірлеудің перспективалы платформасы ретінде белсенді түрде зерттеліп жатыр (Liu et al., 2024).

Полимер-металл материалдарының қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлардың бірі – олардың құрылымдық және морфологиялық ұйымдастырылуы. Металл бөлшектерінің мөлшері мен таралуы, олардың агрегация дәрежесі, беткі қабаттың түзілуі және кеуекті құрылымның сипаты материалдың физика-химиялық қасиеттеріне, оның механикалық беріктігіне және жұмыс кезіндегі тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді. Сондықтан қазіргі заманғы зерттеулерде синтез кезеңінде морфологияның түзілу заңдылықтарын зерттеуге көбірек көңіл бөлініп отыр, себебі бұл процестерді басқару алдын ала анықталған сипаттамалары бар материалдарды алуға мүмкіндік береді (Tayyab et al., 2025).

Полимер матрицасы құрылым түзілуде маңызды рөл атқарады.

Полиэтиленгликоль және басқа да суда еритін полимерлер құрылым түзуші орта ретінде ғана емес, сонымен қатар металл бөлшектерінің ядролануы мен өсуін реттей алады, олардың агломерациясын шектей алады, белсенді компоненттердің біркелкі таралуына ықпал етеді және кеуекті құрылымның параметрлерін өзгерте алады. Бұл әсерлер полимерде металл иондарымен координациялық өзара әрекеттесуге қатысатын функционалдық топтардың болуына, сондай-ақ макромолекулалық желінің қатты фазаның түзілу кинетикасына әсеріне байланысты. Бұл беттік морфологияны, металл компонентінің дисперсиясын және синтезделген материалдардың текстуралық сипаттамаларын өзгертеді (Yildiz and Manzak, 2024).

Полимер-металл материалдарының құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктерін зерттеу үшін қазіргі уақытта физика-химиялық талдаудың заманауи әдістерінің кешені кеңінен қолданылады. Сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) беттік морфологияны және бөлшектердің таралу сипатын бағалауға мүмкіндік береді, энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) компоненттердің жергілікті элементтік құрамын және таралу біркелкілігін анықтауға, ал текстуралық сипаттамаларды талдау әдістері материалдардың беткі құрылымының қалыптасу ерекшеліктерін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдістерді кешенді қолдану құрылымның қалыптасу процестерін неғұрлым толық түсінуді қамтамасыз етеді және синтез жағдайлары мен пайда болатын микроқұрылым арасындағы байланысты орнатуға мүмкіндік береді (Akhtar et al., 2025).

Полимер-металл материалдарының синтезіне арналған көптеген жарияланымдарға қарамастан, қазіргі заманғы зерттеулердің көпшілігі олардың функционалдық қасиеттері мен практикалық қолданылуын бағалауға бағытталған, ал құрылымдық және морфологиялық сипаттамалардың қалыптасу заңдылықтары жеткіліксіз зерттелген. Металл фазасының кеңістікте таралуына, бөлшектердің агломерация дәрежесіне және өтпелі металдарға негізделген жүйелердегі беттік микроқұрылымның қалыптасу ерекшеліктеріне полимер модификациясының әсері туралы әсіресе шектеулі ақпарат бар. Бұл мәселелердің жеткіліксіз жүйеленуі болжамды құрылымдық сипаттамалары бар материалдарды мақсатты түрде жобалауды қиындатады (Yue et al., 2025).

Бұл жұмыстың мақсаты физика-химиялық зерттеудің заманауи әдістері кешенін пайдалана отырып, беттік морфологиясын, металл фазасының таралуын және элементтік құрамын талдау негізінде полимер-металл функционалдық материалдардың құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктерін зерттеу болып табылады.

Әдебиеттік шолу. Полимер-металл функционалды материалдарының қазіргі заманғы дамуы композиттік жүйелердің дәстүрлі синтезінен олардың құрылымын әртүрлі масштабта мақсатты түрде жобалауға ауысумен сипатталады. Бұрын негізгі назар материалдарды өндірудің компоненттері мен әдістерін таңдауға аударылса, қазіргі заманғы зерттеулер материалдың морфологиясы, ішкі архитектурасы және оның физика-химиялық қасиеттері арасындағы байланысты

анықтауға бағытталған. Сондықтан құрылымдық және морфологиялық талдау жаңа функционалды материалдарды әзірлеудегі негізгі қадам болып саналады, себебі металл фазасының кеңістіктік ұйымдастырылуы құрылымның тұрақтылығын, белсенді компоненттердің таралуын және бетінің түзілу сипатын анықтайды (Schmidt, 2020).

Соңғы жылдары полимерлерді металл құрамдас материалдардың құрылым түзуші компоненттері ретінде пайдалану айтарлықтай қызығушылық тудырды. Полимердің инертті матрица ретіндегі дәстүрлі түсінігіне қайшы, қазіргі заманғы зерттеулер оның құрылым түзу процестеріндегі белсенді рөлін көрсетеді. Полимер тізбектеріндегі функционалдық топтардың металл иондарымен үйлесе әрекеттесуі металл бөлшектерінің ядролануына, өсуіне және тұрақтануына әсер етеді, олардың мөлшерін, пішінін және кеңістіктік таралуын өзгертеді. Бұл тәсіл агломерация дәрежесін бақылауға, металл фазасының біркелкі таралуын қамтамасыз етуге және алынған материалдардың құрылымдық біртектілігін жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл, әсіресе, полимер бір мезгілде құрылымдық үлгі және үйлестіруші орта ретінде қызмет ететін металл-полимер қаңқа жүйелерін құруда белсенді болып табылады (Nguyen et al., 2024; Hatakeyama et al., 2011).

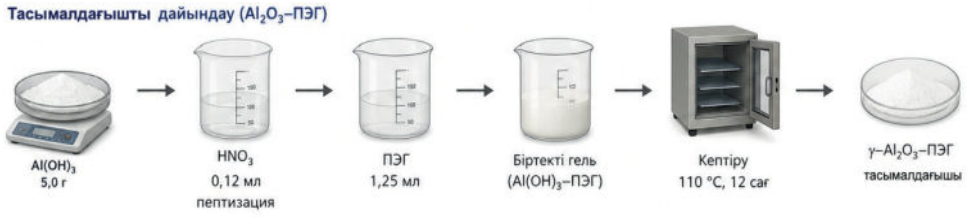
Зерттеушілер беттік морфологияның қалыптасуына назар аударып отыр. Жарияланған зерттеулерді талдау синтез жағдайларының, полимер матрицасының табиғатының және металл фазасының химиялық құрамының өзгеруі беттік микроқұрылымның айтарлықтай өзгерістерімен қатар жүретінін көрсетеді. Сонымен қатар, металл бөлшектерінің мөлшерінің азаюы әрқашан материалдың құрылымдық біртектілігінің артуына әкелмейтіні анықталды. Көптеген жағдайларда екінші реттік агломераттардың пайда болуы, гетерогенді беттік аймақтар және металл компоненттерінің шоғырланған қайта бөлінуі байқалады. Бұл ерекшеліктер материалдардың текстуралық сипаттамаларына айтарлықтай әсер етеді және сканерлеуші электронды микроскопия мен энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопия қолдана отырып, кешенді зерттеуді қажет етеді (Arif et al., 2024; Thirugnanasambandan, 2019).

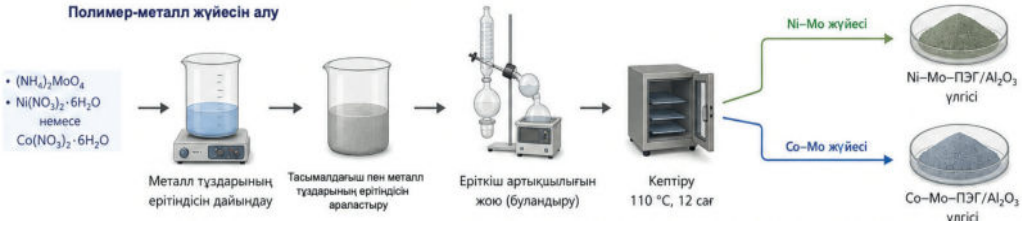
Соңғы жылдары полимер-металл материалдарының құрылымдық ұйымдасуын зерттеу үшін кешенді тәсіл кеңінен қолданыла бастады. Қазіргі заманғы зерттеулер бөлек аналитикалық әдістерді қолданудың орнына электронды микроскопияның, жергілікті элементтік талдаудың және беттік текстураны зерттеудің нәтижелерін біріктіреді, бұл металл компоненттерінің таралуы мен микроқұрылымның қалыптасу сипаттамалары арасындағы байланысты бақылауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл құрылымның қалыптасу процестерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және әртүрлі полимерлік жүйелер мен синтез жағдайларын қолдану арқылы алынған материалдардың морфологиясындағы айырмашылықтарды түсіндіруге көмектеседі. Зерттеушілер металл фазасының кеңістіктік таралуы тек материалдың химиялық құрамымен ғана емес, сонымен қатар құрылымның қалыптасуының алғашқы кезеңдеріндегі полимер матрицасы мен ауыспалы металл арасындағы өзара әрекеттесудің сипатымен де анықталатынын атап өтеді (Beg et al., 2017; Rajeev et al., 2025; Zhang et al., 2016).

Полимер-металл материалдарын синтездеудегі айтарлықтай жетістіктерге қарамастан, қазіргі әдебиеттерді талдау бірқатар шешілмеген мәселелерді анықтайды. Жарияланған зерттеулердің көпшілігі материалдарды дайындаудың немесе олардың пайдалану сипаттамаларын бағалаудың жаңа әдістерін әзірлеуге арналған, ал әртүрлі металл-полимер жүйелерінің құрылымдық және морфологиялық қасиеттерін салыстырмалы талдау шектеулі. Сонымен қатар, қолданыстағы зерттеулер негізінен беттік морфологияны металл фазасының кеңістіктік таралуымен және құрылымның қалыптасу заңдылықтарымен байланыстырмай, тәуелсіз сипаттама ретінде қарастырады. Бірдей жағдайларда синтезделген әртүрлі ауыспалы металдарға негізделген материалдардың құрылымдық және морфологиялық сипаттамаларындағы айырмашылықтар да жеткіліксіз зерттелген, бұл олардың құрылымдық ұйымдастырылуын басқарудың ғылыми негізделген принциптерін әзірлеуді қиындатады.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу нысандары полимер модификаторы ретінде полиэтиленгликольді (ПЭГ) пайдаланып, алюминий оксиді тасымалдағышында жасалған никель-молибден (Ni-Mo) және кобальт-молибден (Co-Mo) жүйелеріне негізделген полимер-металл функционалдық материалдары болды. Ni-Mo және Co-Mo жүйелері металл компонентінің табиғатының алынған материалдардың құрылымдық-морфологиялық сипаттамаларына әсерін салыстырмалы зерттеу мақсатында таңдалды. Тасымалдаушыны дайындау үшін әрбір үлгіге 5,0 г $Al(OH)_3$ алынып, пептизациялау үшін азот қышқылы және полимерлік модификатор ретінде 1,25 мл ПЭГ енгізілді. Қоспа біртекті күйге дейін араластырылып, қалыптастырылғаннан кейін 110 °C температурада 12 сағат кептірілді. Нәтижесінде полимермен модификацияланған Al_2O_3 негізіндегі тасымалдаушы алынды.

Металл құрамдас фазаны қалыптастыру үшін аммоний молибдаты ($(NH_4)_2MoO_4$), никель нитраты $Ni(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$ және кобальт нитраты $Co(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$ пайдаланылды. Көмекші реагенттер ретінде сутегі асқын тотығы мен дистильденген су қолданылды. Дайындалған металл құрамдас ерітінділер полимермен модификацияланған тасымалдаушыға енгізіліп, біркелкі араластырылды, содан кейін үлгілер 110 °C температурада 12 сағат кептірілді. Нәтижесінде Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 үлгілері алынды. Екі жүйе үшін тасымалдаушы мөлшері, полимерлік модификациялау және кейінгі өңдеу жағдайлары бірдей сақталды. Материалдарды алу сызбанұсқасы 1-суретте көрсетілген.





Сурет 1. Ni–Mo–ПЭГ/Al_2O_3 және Co–Mo–ПЭГ/ Al_2O_3 полимер-металл функционалдық материалдарын алу сызбанұсқасы.

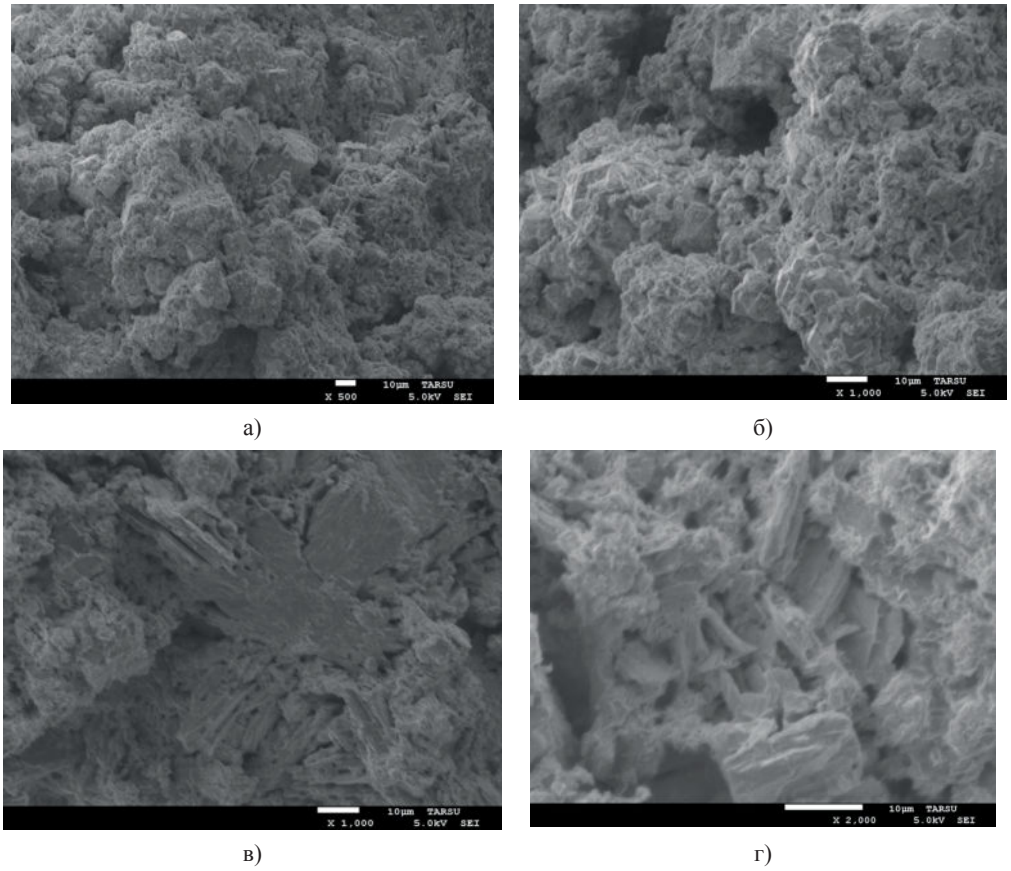
Зерттеу әдістері. Алынған полимер-металл материалдарының құрылымдық-морфологиялық сипаттамалары JSM-7500F (JEOL, Жапония) жоғары ажыратымдылықтағы растрлық электрондық микроскопында сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) әдісімен зерттелді. Микрофотографиялар үлгілердің әртүрлі беттік аймақтарынан 500, 1000, 2000 және 5000 есе үлкейту кезінде алынды. СЭМ кескіндері беттік морфологияны, құрылымдық түзілімдердің пішіні мен орналасуын және олардың агрегация сипатын салыстырмалы бағалау үшін пайдаланылды.

Үлгілердің элементтік құрамы СЭМ жүйесімен біріктірілген энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдісімен анықталды. EDS спектрлері таңдалған беттік аймақтарда тіркеліп, Ni-Mo-ПЭГ/Al□O□ үлгісінде Al, O, Ni және Mo, ал Co-Mo-ПЭГ/Al□O□ үлгісінде Al, O, Co және Mo элементтерінің болуын сапалық растау үшін пайдаланылды. Алынған СЭМ микрофотографиялары мен EDS спектрлері екі жүйенің құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктерін салыстырмалы талдау үшін қолданылды.

Зерттеу нәтижелері. Синтезделген Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 материалдарының құрылымдық және морфологиялық сипаттамалары СЭМ арқылы зерттелді. Алынған кескіндер материалдардың беттік ерекшеліктерді, құрылымдық түзілімдердің пішінін, олардың агрегация сипатын және зерттелген жүйелердің морфологиялық ұйымдасуындағы айырмашылықтарды бағалауға мүмкіндік берді.

Алынған Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 микрографиялары 2-суретте көрсетілген. 2а-суретте 500 есе үлкейту кезінде үлгі беті айқын гетерогенділікпен сипатталады және ірі, дұрыс емес пішінді агрегаттардан тұрады. Жеке агрегаттардың өлшемдері әртүрлі және дамыған рельефке ие. Олардың беті тегіс емес: ол борпылдақ шоғырларға біріктірілген көптеген кішігірім құрылымдық элементтерден тұрады. Ірі түзілімдер арасында бос бөлшектерден тұратын аралық кеңістіктер байқалады. 1000 есе үлкейту кезінде агрегаттардың ішкі ұйымдасуы айқынырақ көрінеді. Ұсақ бөлшектер мен созылған құрылымдық элементтер жиынтығынан тұратын ірірек түзілімдер айқын көрінеді. Кейбір жерлерде жұқа, дұрыс емес пішінді құрылымдар бар, олар бір-бірімен байланысып, дамыған беттік рельефті құрайды. Сонымен қатар, тығызырақ, ірі аймақтар сақталған, бұл үлгінің әртүрлі аймақтарындағы құрылымдық элементтердің агрегациясының әртүрлі дәрежесін

көрсетеді. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 басқа бөлігінде (1000 үлкейту кезінде) сәл басқаша морфологиялық тип анықталады. Борпылдақ агрегаттық түзілімдермен қатар, созылған және пластиналы құрылымдар айқын көрінеді. Олардың кейбіреулері шоғырланған кластерлерге топтастырылған, ал басқалары салыстырмалы түрде оқшауланған. Бұл түзілімдердің беті де гетерогенді және ішінара ұсақ дисперсті бөлшектермен жабылған. Үлкейтуді 2000 есеге арттыру пластиналы құрылымдық элементтерді егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. Микрофотографиялар салыстырмалы түрде айқын шекаралары және әртүрлі кеңістіктік бағдары бар созылған түзілімдерді анық көрсетеді. Олар үлкен агрегаттардың ішінде де, олардың арасындағы кеңістіктерде де орналасқан. Пластиналы құрылымдармен қатар, ұсақ дисперсті компонент сақталады, ол ірі түзілімдердің бетін ішінара жабады.



а) б)

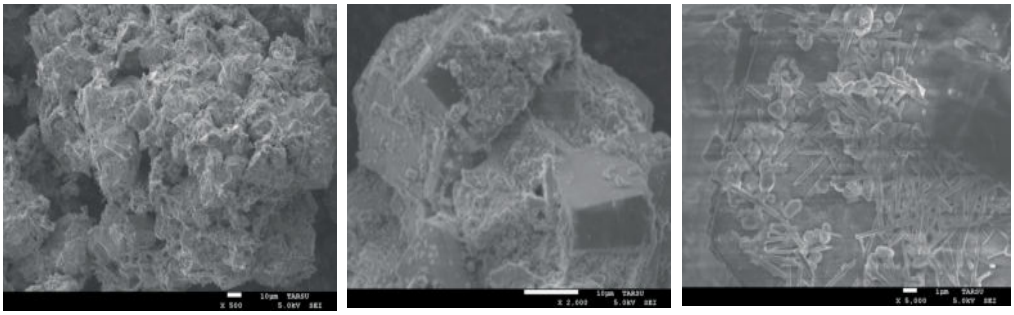
в) г)

Сурет 2. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 әртүрлі ажыратымдылықтағы СЭМ микрофотографиялары: а – 500; б – 1000; в – 1000; г – 2000.

Осылайша, Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 материалының морфологиясы бірнеше типтегі құрылымдық элементтердің үйлесуімен сипатталады. Зерттелген аймақтарда

пішіні әркелкі ірі агрегаттар, ұсақ дисперсті беттік түзілімдер және созылыңқы пластиналы құрылымдар қатар кездеседі. Олардың үйлесуі материал бетінің күрделі гетерогенді морфологиясын қалыптастырады.

Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 морфологиясы да біркелкі емес беттік ұйымдасумен сипатталады, бірақ никель құрамдас үлгіден ерекшеленеді (Сурет 3). 500 есе үлкейту кезінде күрделі пішінді ірі агрегатты түзілімдер байқалады. Агрегаттарда кішігірім құрылымдық элементтермен қоршалған салыстырмалы түрде үлкен пластина тәрізді фрагменттер бар. Жеке ірі түзілімдердің шекаралары айқын анықталған. 2000 есе үлкейту кезінде салыстырмалы түрде тегіс беткі аудандары және айқын анықталған шеттері бар ірі бөлшектер айқын көрінеді. Бұл бөлшектердің бетінде көптеген кішігірім түзілімдер бар. Кейбір аймақтар негізінен ірі құрылымдық элементтер және олардың арасындағы кеңістіктерде ұсақ дисперсті компоненттердің жиналуымен сипатталады. 5000 есе үлкейткен кезде ірі құрылымдық фрагменттің бетінде ұзартылған түзілістердің едәуір саны байқалады. Олар негізінен ине және таяқша тәрізді және ұзындығы мен бағыты бойынша әртүрлі. Созылған элементтердің кейбіреулері салыстырмалы түрде бөлек орналасса, басқалары жергілікті кластерлерді құрайды. Бұл кезде ұзартылған құрылымдар арасында таралған дөңгелек және сопақша бөлшектер байқалады.



а) б) в)

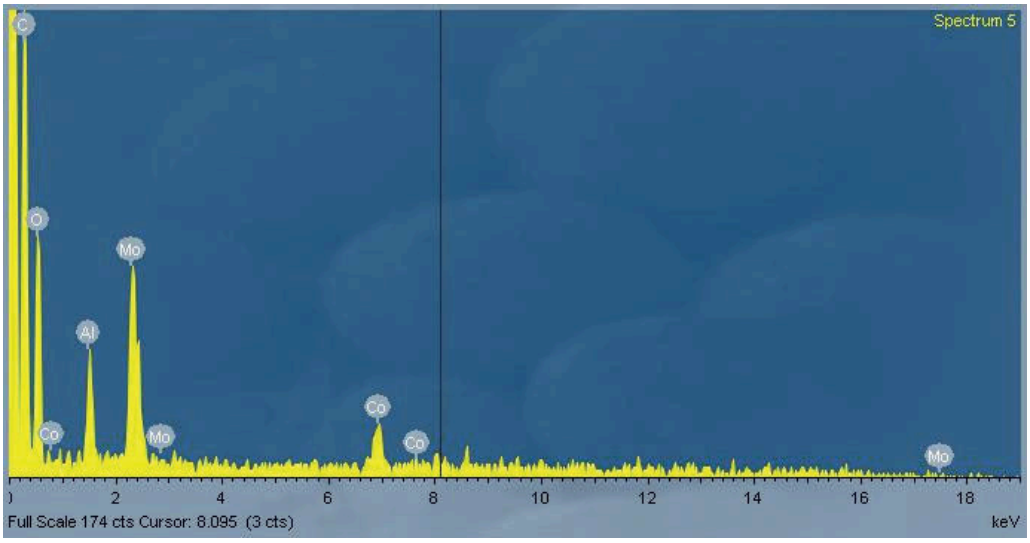
Сурет 3. Әртүрлі ажыратымдылықтағы Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 СЭМ микрофотографиялары: а – 500; б – 2000; в – 5000.

Осылайша, зерттелетін Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 беті үлкен пластинкалы түзілістердің және әртүрлі пішіндегі кішірек құрылымдық элементтердің қосындысымен сипатталады. Жоғары ұлғайту кезінде бетінің біртекті емес микрорельефін құрайтын ине және шыбық тәрізді құрылымдардың болуы айқын көрінеді.

Екі материалдың микрофотографияларын салыстыру олардың беттік ұйымдасу сипатындағы айырмашылықтарды анықтады. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 бетінің айтарлықтай бөлігін пластиналы және созылған құрылымдармен қатар ұсақ бөлшектерден тұратын борпылдақ агрегаттық аймақтар алып жатыр. Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 үшін үлкен пластиналы және қырлы түзілімдердің болуы айқынырақ, олардың бетінде көптеген ұсақ бөлшектер мен созылған құрылымдар

бар. Осылайша, СЭМ зерттеуі екі жүйенің де гетерогенді морфологиясы мен көп деңгейлі беттік ұйымдасуы бар екенін, бірақ байқалған құрылымдық элементтердің сипаты әртүрлі екенін көрсетті. Алынған кескіндер үлгілердің шоғырланған аймақтарын сипаттайды, сондықтан анықталған айырмашылықтар бөлшектердің мөлшері мен таралуын сандық бағалаусыз зерттелген аймақтардың морфологиялық ерекшеліктері болып саналады.

Синтезделген материалдардың элементтік құрамын анықтау үшін энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопия көмегімен талдау жүргізілді. Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесінің EDS спектрі 4-суретте көрсетілген. Спектрде материалдың алюминий негізінің құрамына сәйкес келетін оттегі мен алюминийдің сипаттамалық сигналдары көрсетіледі. Сонымен қатар, молибден мен кобальттың сигналдары анық көрінеді. Mo сигналдары спектрдің бірнеше энергетикалық аймақтарында байқалады, бұл оған тән рентген сызықтарына сәйкес келеді. Спектрде Co-тың сипаттамалық шыңдары да анық көрінеді. Co және Mo сигналдарының бірге болуы Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 зерттелген аймағында металл компоненттерінің екеуінің де болуын растайды.



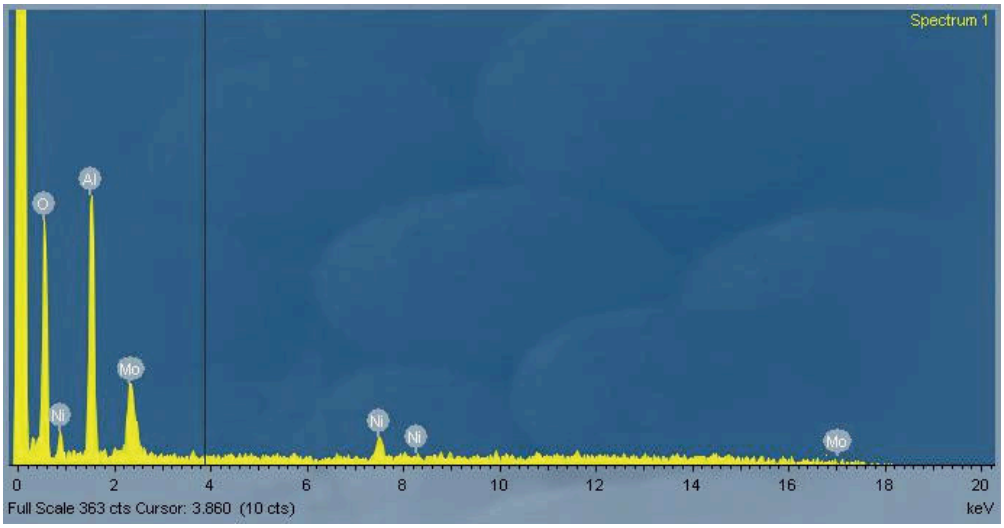
Сурет 4. Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесінің EDS спектрі.

Спектрде көміртегінің қарқынды сигналы да бар. Оның пайда болуы зерттелген материалдың органикалық компонентімен де, электронды микроскопияға үлгі дайындау ерекшеліктерімен де байланысты болуы мүмкін. Сондықтан, бұл зерттеуде көміртегі сигналы спектрдің сапалық сипаттамасында ескерілді, бірақ полимер компонентінің құрамын бағалау үшін тәуелсіз пайдаланылмады.

Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесінің EDS талдауы материалдың көп компонентті құрамын да растады (5-сурет). Спектр Al және O қарқынды сигналдарын, сондай-ақ Ni және Mo сипаттамалық сигналдарын көрсетеді. Никельдің болуы тиісті

CC BY NC

энергетикалық аймақтардағы бірнеше сипаттамалық шыңдармен расталады, ал молибден сигналдары спектрдің төмен және жоғары энергиялы бөліктерінде жазылады. Al, O_2, Ni және Mo бір мезгілде анықталуы синтезделген Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесінің құрамына сәйкес келеді және материалдың талданатын аймағында енгізілген металл құрамдас бөліктердің бар екенін растайды.



Сурет 5. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесінің EDS спектрі.

Жалпы алғанда, EDS нәтижелері синтезделген екі жүйеде де мақсатты металл компоненттерінің Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 ішіндегі Ni және Mo, ал Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 ішіндегі Co және Mo бар екенін растады. Зерттелген материалдардың алюминий құрамы бар негізіне қатысты Al және O екі спектрде де анықталды.

СЭМ және EDS нәтижелерінің біріктірілген талдауы алынған Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 материалдарының беткі морфологиясының сипаты бойынша әртүрлі екенін, ал сәйкес металл компоненттерінің бар екендігі расталғанын көрсетеді. Ni–Mo жүйесі борпылдақ агрегаттардың, ұсақ дисперсті және пластиналы түзілімдердің тіркесімімен сипатталады, ал үлкен қырлы құрылымдар мен созылған микротүзілімдер Co–Mo жүйесінің зерттелген аймақтарында айқынырақ көрінеді.

Нәтижелерді талқылау. Алынған нәтижелер алюминий оксиді тасымалдаушысы және синтездеуге ортақ тәсілді қолдана отырып, Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 беттік ұйымдасудың әртүрлі түрлерін құрайтынын көрсетеді. Бұл көп компонентті металл құрамдас материалдардың морфологиясы тек тасымалдаушының сипатымен ғана емес, сонымен қатар ауыспалы металл ерітінділерін енгізу кезінде жүретін процестердің үйлесімімен, олардың полимер модификаторымен әрекеттесуімен және кейінгі беттік бекітуімен де анықталатынын көрсетеді. Al_2O_3 негізіндегі жүйелердің соңғы зерттеулері сіңіру ерітіндісінің құрамын және металл құрамдас фазаның түзілу шарттарын өзгерту

Ni-Mo компоненттерінің дисперсиясы мен беттік күйін айтарлықтай өзгерте алатынын көрсетті. Мысалы, Mijares-Alvarado et al. $NiMo/Al_2O_3$ үшін сіңіру ерітіндісінің pH мәнін өзгерту алынған Ni-Mo беттік түрлерінің сипатына және олардың алюминий оксиді тасымалдаушысымен әрекеттесу сипатына тікелей әсер ететінін көрсетті (Mijares-Alvarado et al., 2025).

Зерттеліп отырған жүйеде полиэтиленгликольдің болуы ерекше маңызды болуы мүмкін. Бұл жағдайда ПЭГ алюминий құрамдас тасымалдаушы түзілу кезеңінде, яғни Ni-Mo және Co-Mo компоненттерінің тұндырылуына дейін енгізілді. Демек, оның әсері тек металл құрамдас фазаға ғана емес, сонымен қатар ауыспалы металл ерітінділері кейіннен тұндырылатын беттік күйге де әсер етуі мүмкін. Бұл болжам ПЭГ қосу арқылы $NiMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$ зерттеген Sukandar et al. нәтижелерімен сәйкес келеді. Авторлар әртүрлі мөлшерде ПЭГ енгізу $NiMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$ құрылымдық және текстуралық сипаттамаларын өзгертетінін көрсетті; 2 масс.% ПЭГ бар оңтайландырылған нұсқа дамыған бетімен және кеуекті құрылымымен сипатталды (Sukandar et al., 2023). Осылайша, Ni-Mo жүйесін дайындаудағы органикалық компонентті инертті қоспа ретінде емес, материалдың соңғы ұйымдасуын қалыптастыруға қатыса алатын фактор ретінде қарастыруға болады.

Сонымен қатар, осы зерттеудің нәтижелері бірдей ПЭГ-дің болуы Ni-Mo және Co-Mo жүйелерінде бірдей морфологиялардың пайда болуына әкелмейтінін көрсетеді. Бұл алынған деректерді түсіндіру үшін өте маңызды. Егер полимер жалғыз морфологиялық анықтаушы фактор болса, екі үлгінің беттік ұйымдастырылуы ұқсас болады деп күтілуде. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 жүйесіндегі агрегацияланған және пластиналы құрылымдардың байқалған үйлесімі және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 ірі қырлы және ине тәрізді құрылымдардың айқынырақ болуы соңғы микроқұрылымның пайда болуына ықпал ететін металдың табиғатының қатысатынын көрсетеді. Бұл болжам $CoMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$-тің қазіргі заманғы зерттеулерімен сәйкес келеді, бұл жүйедегі ауыспалы металдардың химиялық ортаға сезімталдығын көрсетеді. Majodina et al. әртүрлі лигандтардың қатысуымен алынған $CoMo/\gamma\text{-}Al_2O_3$-ты зерттеп, Co-Mo компоненттерінің координациялық ортасын өзгерту нәтижесінде пайда болған материалдардың беттік қасиеттерін өзгертетінін анықтады (Majodina et al., 2025). Зерттеуде беттің элементтік құрамын бағалау үшін EDS әдісі қолданылды. Бұл деректер Co–Mo жүйелері үшін ауыспалы металл кешендерінің түзілу жолы және олардың $\gamma\text{-}Al_2O_3$-пен әрекеттесуі соңғы беттік сипаттамаларға әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.

Бұл жұмыстағы үлгілерде байқалған агрегация құрамында металы бар жүйелерді сіңдіру үшін де ерекше емес. Ni–Mo компоненттерін қолдану кезінде морфологиялық нәтиже ауыспалы металл бөлшектерінің таралуы, тасымалдаушының қол жетімді жерлеріне енуі және құрамында металл бар бөлшектердің жергілікті жинақталуы арасындағы тепе-теңдікпен анықталады. **Hasanudin et al.** SiO_2/Al_2O_3–NiMo зерттеуінде NiMo тұндырғаннан кейін бастапқы бетінің морфологиясы айтарлықтай өзгеретіні, ал кейбір үлгілерде EDS картасын жасау жергілікті агрегацияны және NiMo жеткіліксіз дисперсиясын анықтағанын

көрсетті, ал тасымалдаушы құрамының өзгеруі металл құрамдас бөлігінің біркелкі таралуын қамтамасыз етті. Авторлар бұл айырмашылықтарды NiMo-ның тасымалдаушы бетімен өзара әрекеттесуімен және құрылымдық бос орындардың қол жетімділігімен байланыстырды (Hasanudin et al., 2025). Бұл байқау СЭМ деректерін түсіндіру үшін бірден қызығушылық тудырады. Көпкомпонентті материалдар үшін морфологиялық гетерогенділік бірнеше процестердің бір мезгілде пайда болуын көрсетуі мүмкін: бетінде металы бар компоненттердің бекітілуі, агрегаттардың түзілуі және үлкен құрылымдық түзілімдердің өсуі. Дегенмен, тек СЭМ негізінде бұл процестердің әрқайсысының үлесін бөлу мүмкін емес. Сондықтан бұл жұмыста анықталған борпылдақ агрегаттардың, ұсақ дисперсті компоненттердің және пластинкалы құрылымдардың жиынтығы ең алдымен Ni–Mo жүйесінің қалыптасқан морфологиялық күйінің сипаттамасы ретінде қарастырылады.

Заманауи зерттеулер Ni-Mo/Al_2O_3 құрылымына тек тасымалдаушы ғана емес, сонымен қатар металл құрамы да айтарлықтай әсер ететінін растайды. Ni-Mo жүйелерінің құрылымының қалыптасуына Ni/Mo қатынасының әсерін зерттеу компоненттердің салыстырмалы мөлшерін өзгерту Ni-Mo бар құрылымдардың қалыптасу сипатын өзгертетінін көрсетті. Бұл Ni мен Mo-ны тәуелсіз қоспалар деп санауға болмайтынын растайды: олардың салыстырмалы қатынасы көп компонентті материалдың қалыптасуын анықтайтын параметрлердің бірі болып табылады. Біздің жағдайда бірдей үлгі дайындау схемасы процестің айырмашылықтарының әсерін азайтады. Сондықтан, Ni-Mo және Co-Mo жүйелеріндегі байқалған айырмашылық Ni- және Co бар ауыспалы металдардың химиялық табиғатындағы айырмашылықтарға және олардың Mo компонентімен және тасымалдаушымен әрекеттесуіне байланысты болуы мүмкін.

EDS деректері көп компонентті жүйелердің қалыптасуын одан әрі растайды. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 үшін Ni мен Mo бір мезгілде анықталды, ал Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 үшін Co мен Mo Al- және O бар негізге қарсы анықталды. Металл құрамдас жүйелерді бағалауға ұқсас тәсіл қазіргі заманғы зерттеулерде қолданылады. Атап айтқанда, Hasanudin et al. алюмосиликат тасымалдаушыларда Ni және Mo таралуын бағалау үшін EDS деректерді пайдаланды және металл компоненттерінің кеңістіктік біртектілік дәрежесі тіректің құрамына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін екенін көрсетті. CoMo/γ-Al_2O_3 үшін EDS беттік элементтік құрамды растау және модификациялық лигандтардың түзуші материалға әсерін бағалау құралы ретінде де қолданылады (Hasanudin et al., 2025).

Бұл жағдайда осы жұмыста ұсынылған EDS спектрлері ең алдымен таңдалған аумақтардың сапалы элементтік құрамын растау ретінде түсіндірілуі керек. Үлгінің бірнеше аймақтарының толық EDS картасы болмаған жағдайда жергілікті алынған спектрді барлық бетке көшіру және металдардың таралуының абсолютті біртектілігін бекіту мүмкін емес.

Зерттеу нәтижелері Ni, Co және Mo бар екенін жай растаудан гөрі маңыздырақ қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Алюминийі бар негіздің бір түрімен және ПЭГ пайдалануымен екі металл жүйесі әртүрлі морфологиялық профильді

құрайды. Демек, полимердің модификациясы жалпы құрылымды құрайтын ортаны жасайды, бірақ беттің соңғы ұйымдастырылуы да енгізілген металл компоненттерінің табиғатымен анықталады. Осы арқылы алынған деректер полимер-металл жүйелеріндегі құрылым түзілудің көп факторлы сипатын растайды: тасымалдаушы құрамы, органикалық модификатордың болуы, сіңдіру ерітіндісінің химиясы және ауыспалы металдың табиғаты бір-бірінен тәуелсіз емес, бірге әрекет етеді.

Алынған нәтижелердің ғылыми маңыздылығы салыстырмалы жағдайларда алынған Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 салыстыруында жатыр. Қазіргі заманғы зерттеулердің көпшілігі металл концентрациясын, тасымалдаушы құрамын, pH мәнін немесе органикалық қоспа түрін өзгерту арқылы құрылымдық факторларды зерттейді. Мысалы, NiMo/Al_2O_3 зерттеулері беттік күйінің сіңдіру жағдайларына тәуелділігін көрсетті, ал CoMo/γ-Al_2O_3 зерттеулерінде ол енгізілген лигандтың табиғатына байланысты болды. Осы зерттеуде екі жүйенің технологиялық схемасы сақталды, ал промотор ретінде қолданылған металл өзгерді (Salomatina et al., 2022). Сондықтан анықталған айырмашылықтар полимермен модификацияланған Mo бар материалдардың құрылым түзілуіне Ni және Co табиғатының әсерін одан әрі зерттеуге негіз болады.

Дегенмен, алынған нәтижелердің белгілі бір шектеулері бар. СЭМ таңдалған беттік аймақтарды сипаттайды және материалдың үш өлшемді құрылымын немесе кеуектілігін сандық анықтауды қамтамасыз етпейді, ал қолданылған EDS талдауы шоғырланған аймақтың элементтік құрамын растайды. Сондықтан, осы кезеңде Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 құрылымдық және морфологиялық табиғатындағы айырмашылықтарды талқылау дұрыс, бірақ жеке байқалған пластиналы немесе ине тәрізді түзілімдерді қосымша фазалық сәйкестендірусіз нақты кристалды қосылыстармен байланыстырмау керек. Нәтижелерді осылайша түсіндіру негізсіз тұжырымдар жасауға жол бермейді және морфологиялық әрі элементтік талдаудың дербес ғылыми маңызын айқындайды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде жалпы алюминий оксиді негізінде полимер-металл материалдарының түзілуі күрделі иерархиялық ұйымдастырылған беттің дамуымен қатар жүретіні анықталды, оның табиғаты металл құрамдас жүйенің құрамына байланысты. Ni-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 және Co-Mo-ПЭГ/Al_2O_3 салыстыруы никельді кобальтпен алмастыру тек элементтік құрамға ғана емес, сонымен қатар материалдың морфологиялық ұйымдастырылу сипатына да әсер ететінін көрсетті. Бұл агрегацияланған, пластиналы және созылған құрылымдық түзілімдердің әртүрлі қатынастарында көрінеді және құрылымның түзілу процесінің енгізілген ауыспалы металдың табиғатына сезімталдығын көрсетеді.

СЭМ және EDS нәтижелері көп компонентті Ni–Mo- және Co–Mo құрамдас жүйелердің өндірілуін растайды және олардың соңғы морфологиясы алюминий оксиді негізінің, полимер модификаторының және металл компоненттерінің біріккен әсерімен анықталатынын көрсетеді. Бұл жағдайда полиэтиленгликоль құрылым түзілу үдерісіне ықпал ететін компонент ретінде қарастырылады, ал никель және кобальт құрамды үлгілер арасындағы анықталған айырмашылықтар

CC BY NC

металл табиғатының материалдың беткі морфологиясын қалыптастырудағы маңызды рөлін көрсетеді. Қазіргі заманғы зерттеулер ПЭГ металл оксиді мен молибдат композиттік жүйелерінің морфологиясын айтарлықтай өзгерту мүмкіндігін растайды.

Осылайша, салыстырмалы талдау полимер-металл жүйесінің құрамы мен морфологиялық ұйымдасуы арасындағы өзара байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер металл компонентінің табиғаты мен полимерлік модификациялау жағдайларын өзгерту арқылы көпкомпонентті жүйелердің құрылымдық-морфологиялық қасиеттерін мақсатты түрде реттеудің ғылыми негізін қалыптастырады.

References

Akhtar M., Shahzadi S., Arshad M., Akhtar T., Janjua M. R. (2025). Metal oxide-polymer hybrid composites: a comprehensive review on synthesis and multifunctional applications. RSC Advances. – Vol. 15. – P. 18173-18208. https://doi.org/10.1039/D5RA01821H (in Eng.).

Al-Samhan M., Al-Fadhli J., Al-Otaibi A. M., Bouresli R. (2023). Synthesis of micromesoporous zeolite-alumina catalysts for olefin production from heavy crude oil. International Journal of Chemical Engineering. – Vol. 2023. – P. 7302409. https://doi.org/10.1155/2023/7302409 (in Eng.).

Arif M., Raza H., Akhter T. (2024). Classification, synthesis, characterization, and applications of metal nanoparticle-containing hybrid microgels: a comprehensive review. RSC Advances. – No. 14(34). – P. 24604-24630. https://doi.org/10.1039/D4RA04128C (in Eng.).

Beg S., Rahman M., Jain A., Saini S., Midoux P., Pichon C., Akhter S. (2017). Nanoporous metal organic frameworks as hybrid polymer–metal composites for drug delivery and biomedical applications. Drug Discovery Today. – No. 22(4). – P. 625-637. https://doi.org/10.1016/j.drudis.2016.10.001 (in Eng.).

Hasanudin H., Nakashima M., Asri W. R., Novia N., Hadiah F., Maryana R., Al Muttaqii M., Rinaldi N. (2025). Effect of aluminium loading on SiO_2/Al_2O_3-NiMo catalysts synthesized via KHP-template for crude palm oil hydrocracking. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis. – Vol. 20. – P. 694-708. https://doi.org/10.9767/bcrec.20483 (in Eng.).

Hatakeyama Y., Morita T., Takahashi S., Onishi K., Nishikawa K. (2011). Synthesis of gold nanoparticles in liquid polyethylene glycol by sputter deposition and temperature effects on their size and shape. The Journal of Physical Chemistry C. – Vol. 115. – P. 3279-3285. https://doi.org/10.1021/jp110455k (in Eng.).

Liu F., Abdiryim T., Liu X. (2024). Metallopolymers as functional materials for multiple applications. Polymer. – Vol. 305. – P. 127170. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127170 (in Eng.).

Majodina S., Walmsley R., Govender A., Hosten E. C., Olivier J., Tshentu Z., Ogunlaja A. S. (2025). Influence of ligands on the surface characteristics of CoMo/γ-Al_2O_3 and hydrodesulfurization catalytic activity on dibenzothiophene-type compounds. ChemistryOpen. – Vol. 14. – P. e202400123. https://doi.org/10.1002/open.202400123 (in Eng.).

Mijares-Alvarado A. G., López-Benítez A., Silva-Rodrigo R., Rodríguez-Ávila J. A., Guevara-Lara A. (2025). Impact of impregnation pH on NiMo surface species in Al_2O_3-supported catalysts for green diesel production. Surfaces. – No. 8(2). – P. 21. https://doi.org/10.3390/surfaces8020021 (in Eng.).

Nguyen M. T., Pattanasattayavong P., Yonezawa T. (2024). Detailed discussion on the structure of alloy nanoparticles synthesized via magnetron sputter deposition onto liquid poly(ethylene glycol). Nanoscale Advances. – Vol. 6. – P. 1822-1836. https://doi.org/10.1039/D3NA00998J (in Eng.).

Rajeev S., Panicker U. G. (2025). Polymer-metal organic frameworks: recent advances in synthesis strategies and applications. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials. – Vol. 35. – P. 5157-5188. https://doi.org/10.1007/s10904-025-03616-8 (in Eng.).

Salomatina A. A., Nadeina K. A., Klimov O. V., Danilova I. G., Gerasimov E. Y., Prosvirin I. P., Noskov A. S. (2022). Influence of Ni/Mo ratio on structure formation of Ni–Mo complex compounds in NiMo/Al_2O_3 catalysts for selective diene hydrogenation. Energy & Fuels. – Vol. 36. – P. 15088-15099. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c02940 (in Eng.).

Schmidt B. V. (2020). Metal-organic frameworks in polymer science: polymerization catalysis, polymerization environment, and hybrid materials. Macromolecular Rapid Communications. – Vol. 41. – P. 1900333. https://doi.org/10.1002/marc.201900333 (in Eng.).

Sukandar D., Badriyah L., Rustyawan W., Adawiah A. (2023). Effect of additional polyethylene glycol and citric acid on characteristics of NiMo/γ-Al_2O_3 catalyst in light cycle gas oil hydrodesulfurisation. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis. – No. 18(1). – P. 162-172. https://doi.org/10.9767/bcrec.17036 (in Eng.).

Tayyab M., Zizhe L., Rauf S., Xu Z., Sagar R. U., Faiz F., Luo J. L. (2025). Advanced fabrication techniques for polymer–metal nanocomposite films: state-of-the-art innovations in energy and electronic applications. Chemical Science. – Vol. 16. – P. 3362-3407. https://doi.org/10.1039/D4SC04600E (in Eng.).

Thirugnanasambandan T. (2019). Polymers-metal nanocomposites. In: Dasgupta N., Ranjan S., Lichtfouse E. Environmental Nanotechnology. Environmental Chemistry for a Sustainable World. – Vol. 21. – Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98708-8_8 (in Eng.).

Yildiz Y., Manzak A. (2024). The effect of a hydrophilic polymer on the morphology of polymeric membranes and the retention of metals. Water, Air, & Soil Pollution. – Vol. 235. – P. 517. https://doi.org/10.1007/s11270-024-07324-w (in Eng.).

Yue N., Umer S., Subramaniam R., Teoh W. Y., Yang C. (2025). Emerging metal-polymer frameworks: structure, applications, and perspectives. Advanced Functional Materials. – Vol. 35. – P. 2425506. https://doi.org/10.1002/adfm.202425506 (in Eng.).

Zhang Z., Nguyen H. T., Miller S. A., Ploskonka A. M., DeCoste J. B., Cohen S. M. (2016). Polymer-metal-organic frameworks (polyMOFs) as water tolerant materials for selective carbon dioxide separations. Journal of the American Chemical Society. – Vol. 138. – P. 920-925. https://doi.org/10.1021/jacs.5b11034 (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 onh 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