

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%2638>; <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>

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

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

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

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

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

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі 05.06.2025 ж. берген № KZ93VPY00121157 Куәлік.

Тақырыптық бағыты: физика, химия.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

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

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

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

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағаевич, 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

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

CHEMISTRY

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.....	164
Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K. Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....	175
Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....	188

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

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмұхамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ. Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. 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.Қ., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.
Цитизиннің α -, β -, γ -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 көміртеккі 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

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К. Физико-химическое исследование продуктов взаимодействия серпентинитовых отходов и фосфорной кислоты.....	175
Башова А.К., Башов А.Б., Тулешова Э.Ж. Восстановление ионов меди цинком в присутствии ионов титана (IV) в растворах серной кислоты.....	188
Фазылов С.Д., Сыздыков А.К., Пустолайкина И.А., Кажмуратова А.Т., Тажибай А.М. Получение α -, β -, γ -олигосахаридных клатратных комплексов цитизина.....	200
Джалмаханбетова Р.И., Елшыбаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К. Терпеноидные соединения <i>Artemisia terrae-albae</i> , произрастающего в Туркестанском регионе Казахстана.....	213
Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б. Устойчивая переработка стружки ферросилиция металлургических заводов в высокопроизводительные кремний-углеродные аноды.....	228
Масалимова Б.К. Методы очистки сточных вод от тяжелых металлов: получение активированного угля из биомассы.....	244
Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймаганбетова З.К., Жантурина Н.Н. Моделирование кинетических параметров образцов винилэфирных смол с наполнителями из диатомита и диметилметилфосфоната.....	272
Сагынтаева А., Жаникулов Н., Сударев Е., Кайырбаева М., Жакипбаев Б. Исследование качества сырья для получения гипсо-цементно-пуццоланового композиционного материала.....	286
Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендыгилиева А., Сабитов Б. Получение бензола методом фотокаталитического окисления толуола.....	302
Сдикова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мухтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К. Эффективность фосфорсодержащих ингибиторов против коррозии стали.....	315
Шаймардан М., Ажиханова Ж., Абуталип М., Токтарбай О. Выделение и характеристика лигнина из биомассы <i>Phlomis Tuberosa L.</i> с помощью кислотной обработки.....	329
Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынгалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р. Получение карбонизированных материалов из рисовой шелухи с использованием 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), 188–199

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.446>

UDC: 546.55
IRSTI: 61.31.51

©Bayeshova A.K.^{1*}, Bayeshov A.², Tuleshova E.Zh.³, 2026.

^{1*}Farabi University, Almaty, Kazakhstan;

²RSE “National Center on complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan”, Almaty, Kazakhstan;

³Akhmet Yasawi university, Turkistan, Kazakhstan.

*E-mail: azhar_b@bk.ru

REDUCTION OF COPPER IONS BY ZINC IN THE PRESENCE OF TITANIUM (IV) IONS IN SULFURIC ACID SOLUTIONS

Bayeshova Azhar — Doctor of Technical Sciences, Professor, Farabi University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: azhar_b@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9076-8130>;

Bayeshov Abduali — Doctor of Chemical Sciences, Academician, RSE “National Center on complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan”, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: abdualibayeshov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Tuleshova Elmira — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Akhmet Yasawi University, Turkistan, Kazakhstan,
E-mail: elmira.tuleshova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2249-9570>.

Abstract. The present study investigates the reduction process of copper(II) ions by zinc powder in sulfuric acid solutions in the presence of titanium(IV) ions. The effects of titanium(IV) ion concentration, initial copper(II) concentration, sulfuric acid concentration, and process duration on the copper extraction efficiency were examined. The experiments were carried out in aqueous copper sulfate solutions under continuous stirring. Zinc powder was used as the reducing agent, while copper sulfate solutions containing sulfuric acid and titanium (IV) sulfate served as the copper-bearing medium. The residual copper concentration in the solution was determined by the iodometric method.

It was established that the degree of copper extraction depends significantly on the initial concentration of copper(II) ions, titanium(IV) ions, sulfuric acid concentration, and process duration. The most favorable conditions for copper extraction were achieved at titanium(IV) ion concentrations of 3.0–6.0 g/L, copper(II) ion concentration of 5.0 g/L, and a process duration of 30 min. Experimental results demonstrated that the copper extraction degree in the presence of titanium(IV) ions increased by up to 20% compared with the reduction process carried out without titanium ions.

It was found that the addition of titanium(IV) ions not only enhances the reduction



efficiency but also reduces zinc consumption. Morphological analysis of the obtained powders revealed the formation of ultrafine copper particles with sizes ranging from 0.1 to 3.0 μm in the presence of titanium(IV) ions.

A mechanism for the catalytic action of titanium(IV) ions is proposed based on cyclic Ti(IV)/Ti(III) redox transformations that provide additional reduction of copper(II) ions. The obtained results are of considerable interest for hydrometallurgical technologies aimed at copper recovery from acidic solutions.

Keywords: copper ions, zinc powder, titanium(IV) ions, extraction degree

Funding. This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23486503).

For citations: Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh. Reduction of Copper Ions by Zinc in the Presence of Titanium(IV) Ions in Sulfuric Acid Solutions. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 188–199. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.446>

©Баешова А.К.^{1*}, Баешов А.Б.², Тулешова Э.Ж.³, 2026.

¹Әл-Фараби университеті, Алматы, Қазақстан;

²ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі Ұлттық орталығы, Алматы, Қазақстан;

³Ахмет Ясауи университеті, Түркістан, Қазақстан.

*E-mail: azhar_b@bk.ru

МЫС ИОНДАРЫН КҮКІРТҚЫШҚЫЛДЫ ЕРІТІНДІЛЕРДЕ ТИТАН (IV) ИОНДАРЫ ҚАТЫСЫНДА МЫРЫШПЕН ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРУ

Баешова Ажар — техника ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: azhar_b@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9076-8130>;

Баешов Абдуали — химия ғылымдарының докторы, академик, ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі Ұлттық орталығы, Алматы, Қазақстан,

E-mail: abduolibayeshov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Тулешова Эльмира — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ахмет Ясауи университеті, Түркістан, Қазақстан,

E-mail: elmira.tuleshova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2249-9570>.

Аннотация. Жұмыста күкіртқышқылды ерітінділерде титанның (IV) иондары қатысында мыс (II) иондарын мырыш ұнтағымен тотықсыздандыру процесі зерттелді. Титан (IV) иондары концентрациясының, мыс (II) иондарының бастапқы концентрациясының, күкірт қышқылы концентрациясының және процестің ұзақтығының мысты бөліп алу дәрежесіне әсері қарастырылды. Тәжірибелер мыс (II) сульфатының сулы ерітінділерінде араластыру жағдайында жүргізілді. Тотықсыздандырғыш ретінде мырыш ұнтағы, ал құрамында мыс бар

ерітінді ретінде күкірт қышқылы мен титан (IV) сульфаты қосылған мыс (II) сульфаты ерітіндісі қолданылды. Ерітіндідегі мыстың қалдық концентрациясы йодометриялық әдіспен анықталды.

Мысты бөліп алу дәрежесіне мыс (II) иондарының бастапқы концентрациясы, титан (IV) иондарының концентрациясы, күкірт қышқылының концентрациясы және тәжірибе ұзақтығы елеулі әсер ететіні анықталды. Мысты бөліп алудың ең қолайлы шарттары титан (IV) иондарының 3,0–6,0 г/л және мыс (II) иондарының 5,0 г/л концентрацияларында, сондай-ақ процесс ұзақтығы 30 минут болғанда байқалды. Эксперимент нәтижелері титан (IV) иондары қатысында мысты бөліп алу дәрежесі титан иондары жоқ жағдаймен салыстырғанда 20%-ға дейін артатынын көрсетті.

Титан (IV) иондарын қолдану тотықсыздандыру дәрежесін арттырып қана қоймай, мырыш шығынын төмендететіні анықталды. Алынған ұнтақтардың морфологиясын зерттеу барысында титан (IV) иондары қатысында өлшемдері 0,1–3,0 мкм болатын ультрадисперсті мыс бөлшектерінің түзілетіні көрсетілді.

Титан (IV) иондарының каталитикалық әсер ету механизмі ұсынылды. Бұл механизм мыс (II) иондарының қосымша тотықсыздануын қамтамасыз ететін $Ti(IV)/Ti(III)$ жүйесіндегі циклдік тотығу-тотықсыздану түрленулеріне негізделген. Алынған нәтижелер қышқылды ерітінділерден мысты гидрометаллургиялық жолмен бөліп алу технологиялары үшін ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

Түйін сөздер: мыс иондары, мырыш ұнтағы, титан (IV) иондары, бөліп алу дәрежесі

©Баешова А.К.^{1*}, Баешов А.Б.², Тулешова Э.Ж.³, 2026.

¹Университет аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;

³Университет Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан.

*E-mail: azhar_b@bk.ru

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ ЦИНКОМ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ТИТАНА (IV) В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Баешова Ажар — доктор технических наук, профессор, Университет аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: azhar_b@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9076-8130>;

Баешов Абдуали — доктор химических наук, академик, Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Тулешова Эльмира — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Университет Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан,

E-mail: elmira.tuleshova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2249-9570>.

Аннотация. В работе исследован процесс восстановления ионов меди(II)



порошкообразным цинком в присутствии ионов титана(IV) в сернокислых растворах. Изучено влияние концентрации ионов титана(IV), исходной концентрации ионов меди(II), концентрации серной кислоты и продолжительности процесса на степень извлечения меди. Эксперименты проводили в водных растворах сульфата меди(II) при постоянном перемешивании. В качестве восстановителя использовали порошкообразный цинк, а в качестве модельного медьсодержащего раствора - раствор сульфата меди(II) с добавлением серной кислоты и сульфата титана(IV). Остаточную концентрацию меди в растворе определяли иодометрическим методом. Установлено, что степень извлечения меди зависит от исходной концентрации ионов меди(II), содержания ионов титана(IV), концентрации серной кислоты и продолжительности процесса. Наиболее благоприятные условия восстановления наблюдались при концентрации ионов титана(IV) 3,0–6,0 г/л, концентрации ионов меди(II) 5,0 г/л и продолжительности процесса 30 мин. Результаты экспериментов показали, что в присутствии ионов титана(IV) степень извлечения меди возрастает примерно на 20 % по сравнению с процессом, протекающим без добавления титана. Установлено, что применение ионов титана(IV) способствует не только повышению степени извлечения меди, но и снижению расхода цинка. Исследование морфологии полученных осадков показало образование ультрадисперсных частиц меди размером 0,1–3,0 мкм в присутствии ионов титана(IV). Предложен механизм каталитического действия ионов титана(IV), основанный на циклических окислительно-восстановительных превращениях системы $Ti(IV)/Ti(III)$, обеспечивающих дополнительное восстановление ионов меди(II). Полученные результаты представляют практический интерес для совершенствования гидрометаллургических технологий извлечения меди из кислых растворов.

Ключевые слова: ионы меди, цинковый порошок, ионы титана (IV), степень извлечения

Введение. Порошковая металлургия представляет собой область науки и техники, охватывающую процессы получения металлических порошков, а также изготовления изделий из них или их композиций с неметаллическими компонентами. Металлический порошок представляет собой совокупность частиц металла, сплава или металлоподобного соединения, находящихся во взаимном контакте, но не связанных между собой.

Порошковая металлургия традиционно играет важную роль в развитии современной техники, поскольку позволяет получать материалы и изделия, изготовление которых невозможно или экономически нецелесообразно с использованием традиционных технологий. В последние десятилетия значение данного направления существенно возросло благодаря созданию материалов с микрокристаллической, наноструктурированной и аморфной структурой. Уникальные структурные особенности таких материалов обеспечивают повышение их физико-механических и эксплуатационных свойств (Girshov, 2010).

Литературный обзор. Разработка и совершенствование технологий извлечения

ценных металлов из промышленных растворов является одной из актуальных задач современной гидрометаллургии. Среди различных методов извлечения металлов особое место занимают процессы восстановления, отличающиеся технологической простотой и высокой эффективностью.

Методы восстановления металлами широко применяются при комплексной переработке руд цветных металлов для извлечения ионов меди(II) из технологических и сточных слабокислых растворов. На эффективность процессов восстановления оказывают влияние природа восстановителя, состав раствора, наличие различных добавок и условия проведения процесса.

Преимущества методов восстановления металлами по сравнению с альтернативными способами извлечения меди показаны в работе Calugina (2015). Авторами установлено, что при извлечении меди из технологических растворов кучного выщелачивания методом цементации остаточное содержание меди в растворе составляет менее 1 %, тогда как при использовании сульфида натрия степень извлечения не превышает 45,02 %. В качестве восстановителя использовалось железо марки CMS. В зависимости от состава технологических растворов степень извлечения меди изменялась в пределах 96,5–99,5 %.

Исследования Yehia (2014), посвящённые извлечению меди из сточных вод с использованием железного стержня, показали, что скорость восстановления ионов меди(II) возрастает с увеличением интенсивности перемешивания и повышением значения pH раствора до 2. При дальнейшем увеличении pH скорость процесса снижается.

В работах Abdel-Aziz (2011) и Amin (2011) изучалась кинетика восстановления ионов меди(II) из растворов сульфата меди в реакторе с мешалкой, оснащённом вращающейся перфорированной корзиной, заполненной цинковыми кольцами Рашига. Установлено, что скорость реакции возрастает с увеличением начальной концентрации сульфата меди, температуры и скорости вращения корзины. В то же время присутствие спиртов (бутанол, этанол и метанол) приводит к снижению скорости восстановления.

Аналогичные результаты были получены Kolesnikov (2016), который исследовал влияние поверхностно-активных веществ на процесс восстановления меди цинком в сульфатных растворах. Показано, что присутствие флокулянтов снижает скорость восстановления, причём степень ингибирующего действия определяется природой и физико-химическими свойствами полимеров. Замедление процесса автор объясняет блокированием активных центров поверхности цинка вследствие адсорбции высокомолекулярных соединений (эффект Лошкарёва).

Восстановление ионов меди металлическим цинком широко используется в гидрометаллургии для извлечения меди из цинксодержащих растворов (Demirkiran, 2007). Показано, что скорость процесса возрастает с увеличением концентрации ионов меди(II), температуры, интенсивности перемешивания и содержания ионов цинка.

Исследование восстановления меди на вращающихся дисковых электродах из цинка и железа, как по отдельности, так и в сочетании друг с другом, показало,

что цинк является основным центром выделения водорода и тем самым снижает коррозию железа (Gros, 2011a). Вопросы, связанные с выделением водорода при цементации металлов, представляют значительный научный интерес, поскольку данный процесс сопровождается дополнительным расходом восстановителя.

В работе Gros (2011b) исследовалось восстановление меди на смесях железа и цинка в системе псевдооживленного слоя. Эффективность смесей оценивалась по кинетическим характеристикам и коэффициентам массопереноса. Было установлено, что энергия активации процесса составляет 19,6 кДж/моль, что свидетельствует о преобладании диффузионных ограничений. Максимальные значения коэффициента массопереноса наблюдались при $\text{pH} = 1,5$, что связано с интенсивным выделением водорода. Авторы также показали, что морфология осаждённой меди оказывает существенное влияние на кинетические характеристики процесса.

Сравнительное исследование восстановления меди цинком, железом и алюминием показало, что наибольшая скорость процесса достигается при использовании цинка, однако интенсивное выделение водорода приводит к его повышенному расходу (Karavasteva, 2005). Установлено, что морфология получаемой меди зависит от природы восстановителя: на железе формируется плотный мелкокристаллический слой, на цинке образуется высокопористый дендритный осадок, а на алюминии - глобулярные кристаллиты размером 1–4 мкм.

Согласно литературным данным, при восстановлении меди цинком часть металла расходуется на побочную реакцию выделения водорода:



Следовательно, металлический цинк используется не полностью на извлечение меди, что приводит к увеличению его расхода. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на повышение степени извлечения меди, получение мелкодисперсных порошков и снижение расхода металлов-восстановителей.

Следует отметить, что ранее авторами были разработаны методы получения дисперсных порошков различных металлов методом восстановления, результаты которых представлены в работах Tuleshova (2015) и Abzhalov (2022). Полученный опыт послужил основой для дальнейших исследований, направленных на интенсификацию процессов восстановления меди и совершенствование технологий получения металлических порошков.

Материалы и методы. Основной целью работы является изучение процесса восстановления меди из растворов цинком в присутствии ионов титана (IV).

Процесс восстановления проводили в химическом стакане объемом 200 мл при перемешивании на магнитной мешалке. В качестве металла-восстановителя использован цинк (порошок), в качестве медьсодержащего раствора – сульфат меди (II) с добавлением серной кислоты и сульфата титана (IV). Порошок цинка добавляли в весовом соотношении $\text{Cu}^{2+} : \text{Zn} = 1:2$, т.е. масса добавляемого порошка

цинка была в 2 раза больше, чем масса ионов меди (II) в растворе. После реакции восстановления наблюдалось образование элементной меди в виде дисперсного порошка, который отделяли от раствора фильтрацией. В фильтрате определяли остаточную концентрацию ионов меди (II) известным иодометрическим методом (Feinberg, 1959) и рассчитывали степень извлечения меди. Порошок промывали, взвешивали и анализировали физико-химическими методами.

Было исследовано влияние концентрации ионов титана (IV), исходной концентрации ионов меди (II) и серной кислоты, продолжительности опыта на степень извлечения меди и на остаточную концентрацию ионов меди (II) в растворе.

Результаты и обсуждение. В процессе восстановления ионов меди (II) порошком цинка в присутствии ионов титана (IV) наблюдалось образование элементной меди в виде дисперсного порошка. На степень извлечения меди оказывает влияние исходная концентрация ионов меди (II), концентрация ионов титана (IV), концентрация серной кислоты и продолжительность опыта. Были проведены эксперименты в отсутствие и в присутствии ионов титана (IV). Результаты исследований показали, что степень извлечения меди при соотношении $\text{Cu}^{2+}:\text{Zn} = 1:2$ в присутствии ионов титана (IV) резко увеличивается. При исходной концентрации ионов меди (II), равной 5,0 г/л и добавлении ионов титана (IV) с концентрацией 4,5 г/л, продолжительности опыта, составляющей 30 минут, степень извлечения меди достигает 99,4%, а при концентрации ионов титана (IV), равной 6,0 г/л ионы меди (II) практически полностью извлекаются из раствора в виде порошка меди, т.е. степень извлечения достигает 100% (рис. 1). Полное извлечение меди достигается при концентрации ионов титана (IV), равной 3,0-6,0 г/л, ионов меди (II) – 5,0 г/л и продолжительности опыта 30 минут.

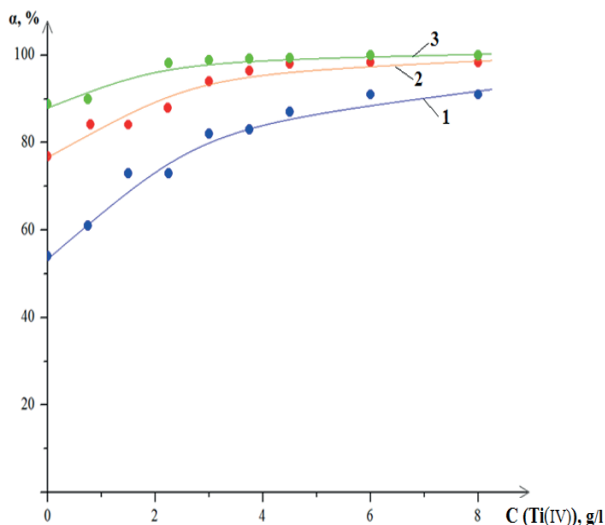


Рисунок 1. Влияние концентрации ионов титана (IV) на степень извлечения меди при восстановлении цинком ($\text{C}(\text{H}_2\text{SO}_4)=10$ г/л, $\tau=30$ мин., $t=25^\circ\text{C}$) при различных исходных концентрациях ионов меди (II), г/л: 1–1,0; 2–2,5; 3–5,0.

Зависимость степени извлечения меди от продолжительности опыта при различных концентрациях ионов титана (IV) приведена на рисунке 2. В отсутствие ионов титана (IV) степень извлечения меди не превышает 77,2% (рис. 2, кривая 1). При добавлении 1,5 г/л ионов титана (IV) степень извлечения меди достигает 82,4% (рис. 2, кривые 2, 3). При концентрации ионов титана (IV), равной 3,0 г/л, за 50 минут степень извлечения достигает 98%.

Исследовано влияние концентрации серной кислоты на степень извлечения меди при восстановлении цинком в присутствии ионов титана (IV). Кривые, приведенные на рисунке 3, показывают, что наиболее высокая степень извлечения меди достигается в области концентрации серной кислоты 5 г/л. Дальнейшее увеличение концентрации серной кислоты неблагоприятно влияет на изменение степени извлечения. Как видно из рис.3, сначала с увеличением концентрации серной кислоты степень извлечения меди резко возрастает, по-видимому, это объясняется повышением электропроводности раствора. При дальнейшем росте концентрации кислоты начиная с 5,0 г/л – степень извлечения уменьшается. Это уменьшение вызвано тем, что усиливается протекание побочного процесса выделения водорода. Также возможно обратное растворение свежесформированного медного порошка в сернокислой среде в присутствии кислорода воздуха.

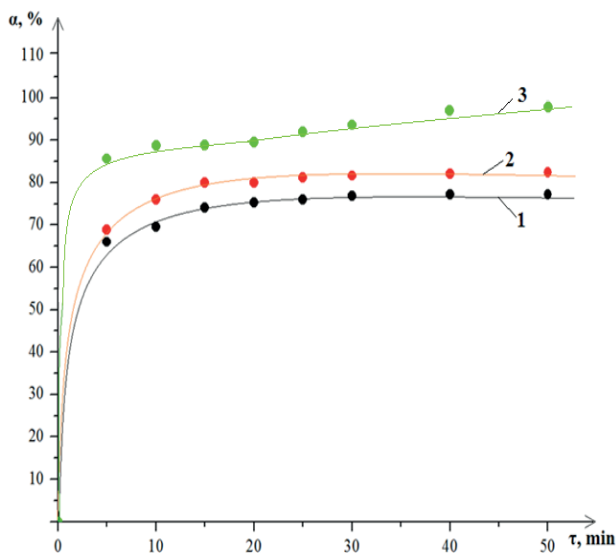


Рисунок 2. Влияние продолжительности опыта при различных концентрациях ионов титана (IV), г/л:
1–без Ti(IV); 2–1.5; 3–3.0.

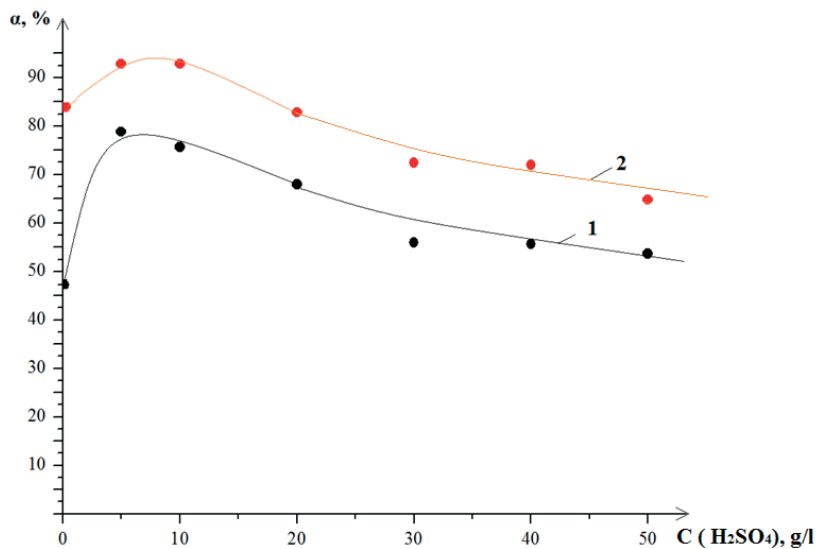
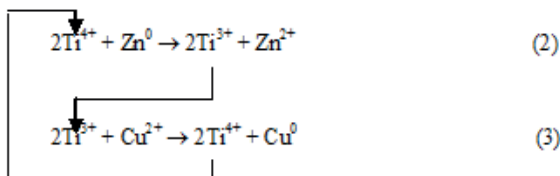


Рисунок 3. Влияние концентрации серной кислоты на степень извлечения меди в отсутствие ионов титана (IV) (кривая 1) и в присутствии ионов титана (IV) (кривая 2).

Повышение степени извлечения ионов меди (II) и увеличение скорости восстановления в присутствии ионов титана (IV) объясняем так: процессы протекают по представленной ниже схеме, и они (процессы) являются и каталитическими, и циклическими:



В известных способах в ходе процесса восстановления часть цинка расходуется на выделение водорода по реакции (1). В наших экспериментах в присутствии ионов титана (IV) эта часть цинка расходуется на восстановление ионов титана (IV) до трехвалентного состояния по реакции 2. Такая реакция возможна по той причине, что стандартный потенциал реакции восстановления четырехвалентного титана до трехвалентного состояния ($E^0 = 0,04$ В) имеет более положительное значение, чем потенциал цинка ($E^0 = -0,76$ В) (Handbook of Electrochemistry, 1981).

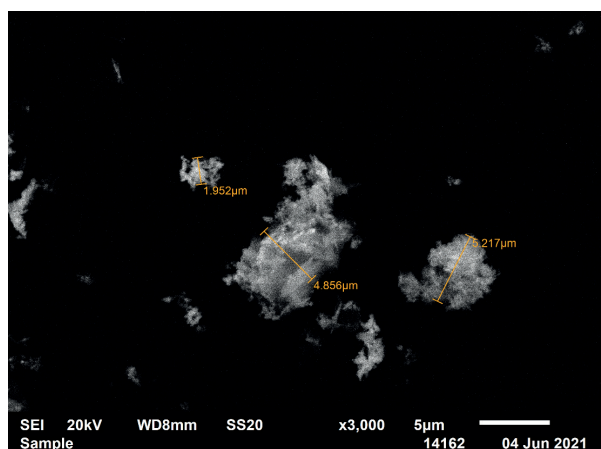
Также следует отметить, что величина ред-окс потенциала системы $\text{Cu}^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^0$ имеет более положительное значение, чем величина потенциала системы $\text{Ti}^{4+} \rightleftharpoons \text{Ti}^{3+}$. Величины потенциалов, соответственно, равны $+0,34$ и $0,04$ В, поэтому восстановление ионов меди (II) протекает по реакции (3). Рассчитанная нами константа равновесия реакции составляет 10^{10} , т.е. равновесие реакции полностью смещено вправо. В этой связи ионы титана (III) взаимодействуют с

ионами меди (II) по реакции (3). В результате дополнительно восстанавливаются ионы меди (II) и за счет этого степень извлечения повышается на 12–20%. При этом ионы титана (IV) регенерируются и вновь участвуют в реакциях (2) и (3), т. е. указанные реакции циклически повторяются. Таким образом, установлено, что ионы титана (IV) участвуют в промежуточных реакциях, оказывают влияние на ход восстановления, т. е. они выполняют роль катализатора.

Эксперименты показали, что порошки меди образуются при взаимодействии ионов меди (II) с цинком по известной реакции (4), в данном случае они формируются на поверхности цинка. Отмечаем, что в случае взаимодействия ионов титана (III) с ионами меди (II) порошки меди образуются не на поверхности цинка, а в объеме раствора. Рост частиц порошка не происходит, только лишь частицы могут прилипать друг к другу (агломерация), то есть могут формироваться наноструктурированные сферические агрегаты.



Важной характеристикой порошков является форма частиц, которая в основном зависит от способа получения. Исследование морфологии порошков меди на электронном микроскопе показало (рисунки 4 и 5), что в отсутствие катализатора – ионов титана (IV) формируются относительно крупные дендритообразные частицы с размерами 20–60 мкм (рис. 4а, 4б). В присутствии ионов титана (IV) определенная часть элементной меди формируется в виде ультрадисперсных порошков с размерами частиц 0,1–3,0 мкм (рисунок 5 а), также образуются более крупные частицы (рис. 5б).



(a)

(b)

Рисунок 4. Электронно-микроскопические фотографии порошков меди, полученных при восстановлении порошком цинка в отсутствие ионов титана (IV) в растворе.

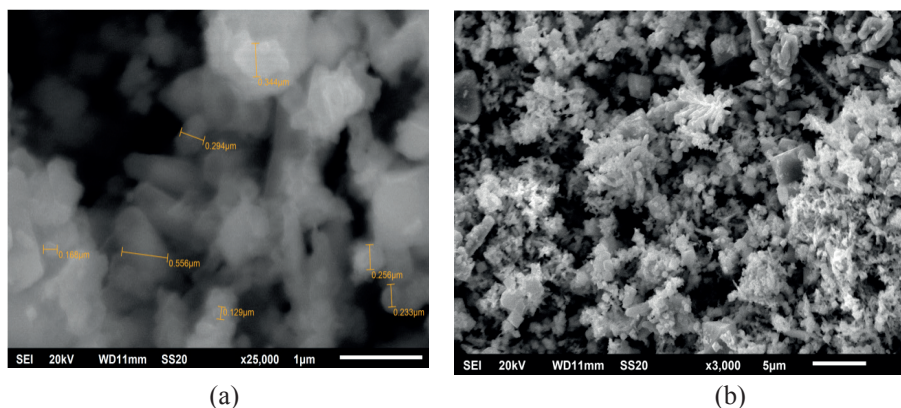


Рисунок 5. Электронно-микроскопические фотографии порошков меди, полученных в растворе восстановлением порошком цинка в присутствии ионов титана (IV).

Закключение. Таким образом, исследован процесс восстановления ионов меди (II) порошком цинка в водных кислых растворах в присутствии ионов титана (IV). Проведено сравнение степени извлечения меди в отсутствие и в присутствии ионов титана (IV).

Показано, что ионы титана (IV) благоприятно влияют на процесс восстановления меди из раствора. В присутствии ионов титана (IV) ионы меди (II) практически полностью восстанавливаются с образованием элементной меди в виде порошка. Степень извлечения ионов меди (II) повышается на 20% и достигает практически 100%, а также уменьшается расход восстановителя – порошка цинка. Результаты можно применять для восстановления ионов меди с целью их извлечения из различных отработанных растворов промышленных предприятий и сточных вод.

References

- Abdel-Aziz M. H. (2011) Production of copper powder from wastewater containing CuSO_4 and alcoholic additives in a modified stirred tank reactor by cementation, *Hydrometallurgy*. – Vol. 109. – P. 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.06.007> (in English).
- Abzhalov B.S., Tuleshova E.Z., Bayeshov A.B. (2022) Method for Producing Bismuth Oxychloride, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – Vol. 56(6). – P. 978-981. <https://doi.org/10.1134/S004057952206001X>. (in English).
- Amin N. K., El Ashtouky E. S. Z. (2011) Kinetic study of copper cementation onto zinc using a rotating packed bed cylindrical reactor, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. – Vol. 89. – Issue 3. – P. 609-616. <https://doi.org/10.1002/cjce.20443>. (in English).
- Demirkiran N., Ekmekyapar A., Künkül A., Baysar A. A. (2007) Kinetic study of copper cementation with zinc in aqueous solutions, *International Journal of Mineral Processing*. – Vol. 82. – P. 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.10.005>. (in English).
- Feinberg S. Yu. (1959) *Analiz rud cvetnyh metallov [Analysis of Non-Ferrous Metal Ores]*. – Moscow. – 87 p. (in Russian).
- Gros F., Baup S., Aurousseau M. (2011) Copper cementation on zinc and iron mixtures: Part 1: Results on rotating disc electrode, *Hydrometallurgy*. – Vol. 106. – P. 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.12.011>. (in English).
- Gros F., Baup S., Aurousseau M. (2011) Copper cementation on zinc and iron mixtures: Part 2: Fluidized bed configuration, *Hydrometallurgy*. – Vol. 106. – Issues 1-2. – P. 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.12.0127> (in English).

Kalugina N.L., Kalugin D.A., Varlamova I.A., Girevaya Kh.Ya., Bodyan L.A. (2015) Eksperimental'noe izuchenie osobennostej vydeleniya medi iz tekhnologicheskikh rastvorov uchastka kuchnogo vyshchelachivaniya [Experimental Study of the Peculiarities of Copper Recovery from Technological Solutions of a Heap Leaching Site]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – No. 1. www.science-education.ru/121-17491. (in Russian).

Karavasteva M. (2005) Kinetics and deposit morphology of copper cementation onto zinc, iron and aluminium, *Hydrometallurgy*. – Vol. 76. – P. 149-152. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.10.003>. (in English).

Kolesnikov A.V. (2016) Vosstanovlenie medi metallicheskim cinkom v vodnykh rastvorah v prisutstvii vysokomolekulyarnykh PAV [Reduction of Copper by Metallic Zinc in Aqueous Solutions in the Presence of High-Molecular-Weight Surfactants]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznye granicy*. – Vol. 18. – No. 1. – P. 46-55. (in Russian).

Spravochnik po elektrokhemii (1981) [Handbook of Electrochemistry]. Leningrad: Khimiya Publishers. – 488 p. (in Russian).

Tuleshova E.Zh., Bayeshov A.B. (2015) Electrochemical method for obtaining a finely dispersed silver powder, *Russian Journal of Applied Chemistry*. – Vol. 88(7). – P. 1142-1145. <https://doi.org/10.1134/S107042721507006X>. (in English).

Yehia A. Eltaweel, Ehssan M. Nassef, Riham A. Hazz, (2014) Recovery of Copper from Wastewater by Cementation Technique, *World Environment*. – Vol. 4(5). – P. 199-205. <https://doi.org/10.5923/j.env.20140405.01>. (in English).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

Signed for print: 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*