

ISSN: 1991-346X (Print)
ISSN: 2518-1726 (Online)

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№4
2025**

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

2025 • 4



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 NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

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>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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>

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>

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

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>

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>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazi 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>

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

BOSHKAEV Kuantai Aygazyevich, 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>

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

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>

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>

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>

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>

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>

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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>

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, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакция ұжымы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

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>

ОЛИВЬЕРО Росси Сезаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

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>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корея 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>

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>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанокүрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Құнтай Ағвазыұлы, 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>

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

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

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>

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>

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>

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

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлаұлы, 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>

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** Күзлік.

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 НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакционная коллегия:

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

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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>

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>

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

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>

САИГ-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>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, 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>

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

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>

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

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

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>

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>

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббагаевич, 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>

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

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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>

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», 2025

CONTENTS

PHYSICS

U.A. Ualikhanova, Y.Y. Kurban, A.M. Syzdykova, A.B. Altaibayeva, G.S. Altayeva
Dynamical systems analysis of the Starobinsky cosmological model.....11

M.B. Zhassymbayeva, Z. Myrzakulova, M. Abeuova
Darboux transformation for the two-layer M-LXXII equation.....24

G.K. Beketova, N.N. Zhanturina, Z.K. Aimaganbetova
Cs₂AgBiBr₆ double halide perovskites as advanced materials for high-efficiency solar cells.....38

L.I. Shestakova, R.R. Spassyyuk
Spectral studies of the k-f corona interface at 5000–6000 Å.....52

A.Khazhidinova, A. Khazhidinov
On the issue of fuel consumption of a thermal power plant.....66

T.B. Koshtybayev, K.K. Zhantleuov, M.E. Aliyeva
Greens function in the theory of quantum fluids.....77

A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S. Sittykova, D. Kadyrova
Analysis of lunar impact flashes statistics.....91

G.T. Omarova, Zh.T. Omarova
The Lagrange - Jacobi equation and its application to the N - body problem.....105

Zh. Muratkhan, M. Khassanov
Methods for estimation of stellar wind parameters in high-mass X-ray binary systems with neutron stars.....113

V. Mukamedenkyzy, A. Izbasar, A. Aqikat
Investigation of structured flows induced by concentration-driven convection in ternary gases systems.....127

K. Saurova, S. Nysanbaeva, G. Turlybekova
Modeling of the optical system of a star tracker for accurate spacecraft attitude determination.....140

CHEMISTRY

B.S. Serikbayeva, M.S. Satayev, N.K. Sarypbekova

Study of the electroplating process on polypropylene using a conductive layer.....157

A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva

Resource-efficient utilization of serpentinite waste for magnesium sulfate production.....172

A.K. Kozybaev, Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova

Kinetic and thermodynamic studies of heavy metal adsorption onto water-washed Ca-montmorillonite clay.....184

A.Abdрахmanova, V. Krivchenko, A. Sabitova1, B. KuderinaDOL-enhanced electrolytes as a route to stable anodes in Li–V₂O₅ systems.....196**B.K. Massalimova, A.S. Shayakhmetova, A.S.Darmenbayeva**

Water resources of Northern Kazakhstan: environmental monitoring and sustainable anagement.....208

A. Rakhimov, N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova, A.K. Sviderskiy

Investigation of lead slag processing waste as raw material for cement industry.....227

L.M. Kalimoldina, K.Zh. Zhalgasbayev, A.S. Dauletbayev

Comparative study of industrial wastewater treatment methods.....241

A. Nurlan, S.R. Konuspayev, T.S. Abildin, K. Toshtay

Transformations of hydrocarbons during the hydrogenation of gasoline containing benzene.....256

G.J. Baisalova, B.K. Yertay, A.A. Taltenov, P. Kuzhatova, G. SaspugayevaA quantitative determination of the phenol compounds sum in the thallus of *Parmelia sulcata*.....274**B.E. Myrzabekov, A.B. Makhanbetov, T.E. Gaipov, B.S. Abzhalov, N.N. Nurgaliyev**

Electrochemical reduction of manganese (II) ions on titanium and lead electrodes.....286

A.S. Darmenbayeva, G.M. Zhussipnazarova, R. Reshmy, Zh.B. Mukazhanova, V.A. Rube

Biocoatings based on flax stem cellulose and their properties.....298

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Құрбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Старобинскийдің космологиялық моделін динамикалық жүйелер арқылы талдау.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзақұлова, М. Абеуова Қос қабатты М-LXXII теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймағанбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ қос галоидты перовскиттер: күн батареяларына арналған тиімділігі жоғары жаңа озық материалдары.....	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк 5000–6000 Å диапазонында k- және f-короналар арасындағы өтпелі аймақты спектрлік зерттеу.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов Жылу электр станциясының отын тұтыну мәселесі.....	66
Т.Б. Қоштыбаев, К.Қ. Жантлеуов, М.Е. Алиева Кванттық сұйықтар теориясындағы Грин функциялары.....	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Айдың беткі қабатына метеоридтардың соқтығысуын статистикалық тұрғыдазерттеу.....	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Лагранж – Якоби тундеуі және оны N -денелі есепке қолдану.....	105
Ж. Мұратхан, М. Хасанов Нейтрон жұлдыздары бар массивті рентгендік екілік жүйелердегі жұлдыздық жел параметрлерін бағалау әдістері.....	113
В. Мукамеденқызы, А. Избасар, А. Ақиқат Үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық конвекцияның әсерінен құрылымдық ағындардың пайда болуын зерттеу.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Ғарыш аппараттарының ориентациясын нақты анықтау үшін жұлдыз сенсорының оптикалық жүйесін модельдеу.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыпбекова

Электрөткізгіш қабатты қолданып, полипропиленге гальваникалық қаптама алу процесін зерттеу.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Серпентинит қалдығынан магний сульфатын алудың техникалық-экономикалық зерттеуі.....172

А.Қ. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова

Сумен жуылған са-монтмориллонит сазында ауыр металдардың сорбциясының кинетикасы мен термодинамикасы.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаLi–V₂O₅ жүйесіндегі тұрақты анодтарға қол жеткізуге арналған DOL-мен модификацияланған электролиттер.....196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Солтүстік Қазақстанның су ресурстары: экологиялық мониторинг және ұтымды басқару.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Сви́дерский

Цемент өнеркәсібі үшін шикізат ретінде қорғасын қожын өндеу қалдықтарын зерттеу.....227

Л.М. Калимолдина, Қ.Ж. Жалғасбаев, А.С. Даулетбаев

Өнеркәсіптік сарқынды суларды тазартудың әдістерін салыстырмалы түрде зерттеу.....241

Ә. Нұрлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Аби́льдин, К. Тоштай

Құрамында бензол бар бензинді гидрлеу кезінде көмірсутектердің өзгеруі.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева*PARMELIA SULCATA* талломындағы фенолды қосылыстардың жиынтық мөлшерін сандық анықтау.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гаипов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нұрғалиев**

Марганец (II) ионының титан және қорғасын электродында электрохимиялық тотықсыздануы.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Зығыр сабағынан алынған целлюлоза негізіндегі биожабындар және олардың қасиеттері.....298

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Курбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Анализ космологической модели старобинского с помощью динамических систем.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзакулова, М. Абеуова Преобразование Дарбу для двухслойного уравнения M-LXXII.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймаганбетова Cs ₂ AgBiBr ₆ : двойные галоидные перовскиты как передовые материалы для высокоэффективных солнечных элементов	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк Спектральные исследования области перехода между К и F короной в диапазоне 5000–6000Å.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов К вопросу о расходе топлива на тепловой электростанции.....	66
Т.Б. Коштыбаев, К.К. Жантлеуов, М.Е. Алиева Функции Грина в теории квантовых жидкостей	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Исследование статистики ударов метеороидов о поверхность луны	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Уравнение Лагранжа – Якоби и его применение к задаче N -тел.....	105
Ж. Муратхан, М. Хасанов Методы оценки параметров звездного ветра в массивных двойных рентгеновских системах с нейтронными звездами.....	113
В. Мукамеденкызы, А. Избасар, А. Акикат Исследование возникновения структурированных течений, обусловленных концентрационной конвекцией в трёхкомпонентных газовых системах.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Моделирование оптической системы звёздного датчика для точного определения ориентации космических аппаратов.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыпбекова

Исследование процесса гальванопокрытия на полипропилене с использованием электропроводного слоя.....157

А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева

Технико-экономическое исследование получения сульфата магния из серпентинитового отхода.....172

А.К. Козыбаев, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова

Кинетика и термодинамика сорбции тяжелых металлов на промытой водой кальциево-монтмориллонитовой глине.....184

А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. КудеринаDOL – модифицированные электролиты как путь к стабильным анодам в системах $\text{Li-V}_2\text{O}_5$196**Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева**

Водные ресурсы Северного Казахстана: экологический мониторинг и устойчивое управление.....208

А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свицерский

Исследование отходов переработки свинцового шлака в качестве сырья для цементной промышленности.....227

Л.М. Калимолдина, К.Ж. Жалгасбаев, А.С. Дәулетбаев

Сравнительное исследование методов очистки промышленных сточных вод.....241

А. Нурлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай

Превращения углеводов при гидрировании бензина, содержащего бензол.....256

Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. СаспугаеваКоличественное определение суммы фенольных соединений в талломе *PARMELIA SULCATA*.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гайпов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нурғалиев**

Электрохимическое восстановление ионов марганца (II) на титановом и свинцовом электродах.....286

А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе

Биопокрытия на основе целлюлозы из стебля льна и их свойства.....298

©B.S. Serikbayeva*, M.S. Satayev, N.K. Sarypbekova, 2025.

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.

*E-mail: sbagdash@bk.ru

STUDY OF THE ELECTROPLATING PROCESS ON POLYPROPYLENE USING A CONDUCTIVE LAYER

Serikbayeva Bagdagul — PhD, Senior Lecturer M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: sbagdash@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>;

Satayev Malik — Doctor of Technical Sciences, Professor M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: malik_1943@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3456-7083>;

Sarypbekova Nursulu — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: Nurislam_kar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

Abstract. The paper presents the results of research on the process of forming copper and nickel electroplated coatings on a polypropylene substrate using an innovative method of photochemical surface activation. The scientific novelty of the research lies in the development of a comprehensive approach that combines preliminary chemical modification of the polymer surface with the subsequent formation of an electrically conductive nanocomposite sublayer based on a copper-silver system. A key element of the developed technology is an original activation stage, which consists of treating the surface with a CuCl_2 solution, leading to the formation of associated catalytic centres containing CuCl phases and partially reduced metallic copper. These centres serve as the basis for the deposition of a thin sorption film from solutions of silver nitrate and ascorbic acid, which is subsequently subjected to photochemical reduction under the action of visible radiation (flux density 700—1100 W/m²). As a result, a continuous, highly adhesive and electrically conductive layer is formed within 15—20 minutes. It has been experimentally confirmed that the resulting conductive sublayer provides high adhesion to the polymer matrix and allows uniform, non-porous electroplated copper and nickel coatings to be obtained. The practical significance of the work lies in the creation of a resource-efficient and scalable technology for the metallisation of chemically inert polyolefins, which opens up prospects for its application in high-tech industries such as the electronics industry (production of flexible printed circuits, shielding coatings),

automotive industry (creation of wear-resistant and decorative elements) and production of functional composite materials.

Keywords: polymer metallization, electroplating, silver, copper, nickel

©Б.С. Серикбаева*, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыпбекова, 2025.

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан.

*E-mail: sbagdash@bk.ru

ЭЛЕКТРОТКІЗГІШ ҚАБАТТЫ ҚОЛДАНЫП, ПОЛИПРОПИЛЕНГЕ ГАЛЬВАНИКАЛЫҚ ҚАПТАМА АЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Серикбаева Багдагуль — PhD доктор, аға оқытушы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: sbagdash@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>;

Сатаев Малик — техника ғылымдарының докторы, профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: malik_1943@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3456-7083>;

Сарыпбекова Нурсулу — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: Nurislam_kar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

Аннотация. Мақалада инновациялық фотохимиялық беттік белсендіру әдісі арқылы полипропилен субстратында мыс пен никель электролитикалық қаптамаларын алу процесінің зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің ғылыми жаңалығы – полимер бетін алдын ала химиялық-механикалық модификациялауды және кейінгі мыс-күміс жүйесіне негізделген электр өткізгіш нанокөмірдік қабат түзуді біріктіретін кешенді тәсілді әзірлеуде. Дамытылған технологияның негізгі элементі – бетті CuCl_2 ерітіндісімен өндеуден тұратын бастапқы белсендіру кезеңі, ол CuCl фазалары мен жартылай өткізгіш металлдық мыс қамтитын байланысқан каталитикалық орталықтардың түзілуіне әкеледі. Бұл орталықтар күміс нитраты мен аскорбин қышқылы ерітінділерінен жұқа сорбциялық қабат түзілуінің негізін құрайды, ол тығыздығы $700\text{—}1100\text{ Вт/м}^2$ жарық сәулелік әсерінен фотохимиялық реакцияға ұшырайды. Жұқа сорбциялық қабат сәулелік тиімді енуін қамтамасыз етеді яғни CuCl/Cu белсенді орталықтарында күмістің фотохимиялық тотықсыздану және аскорбин қышқылының қоздырылған күйге өтуі нәтижесінде химиялық тотықсыздануы. Нәтижесінде 15–20 минут ішінде үздіксіз, жоғары адгезияға ие электр өткізгіш қабат түзіледі. Эксперименттік түрде расталғандай, алынған өткізгіш қабат полимер матрицасына жоғары адгезияны қамтамасыз етіп, мыс пен никельдің біркелкі, гальваникалық қаптамаларын алуға мүмкіндік береді. Жұмыстың практикалық маңызы – химиялық бейтарап полиолефиндерді металлдауға арналған ресурс үнемді және масштабталатын технологияны әзірлеу, бұл электроника (икемді басылған схемалар, экрандау қабаттарды өндіру) автомобиль өнеркәсібі (тозуға төзімді және декоративті элементтер жасау) және функционалды композитті материалдар өндірісі сияқты жоғары технологиялық салаларда қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: полимерді металдандыру, гальваникалық қаптамалар, күміс, мыс, никель

©Б.С. Серикбаева, М.С.Сатаев, Н.К. Сарыпбекова, 2025.

Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

*E-mail: sbagdash@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯ НА ПОЛИПРОПИЛЕНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО СЛОЯ

Серикбаева Багдагуль — PhD, старший преподаватель кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: sbagdash@bk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>;

Сатаев Малик — доктор технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: malik_1943@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3456-7083>;

Сарыпбекова Нурсулу — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

E-mail: Nurislam_kar@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

Аннотация. В работе представлены результаты исследования процесса формирования гальванических покрытий меди и никеля на подложке из полипропилена с использованием инновационного метода фотохимической активации поверхности. Научная новизна исследования заключается в разработке комплексного подхода, сочетающего предварительную химико-механическую модификацию полимерной поверхности с последующим формированием электропроводящего нанокompозитного подслоя на основе системы медь–серебро. Ключевым элементом технологии является оригинальный этап активации, заключающийся в обработке поверхности раствором CuCl_2 , что приводит к образованию каталитически активных центров, содержащих фазы CuCl и частично восстановленную металлическую медь. Эти центры служат основой для осаждения тонкой сорбционной плёнки из растворов нитрата серебра и аскорбиновой кислоты, которая далее подвергается фотохимическому восстановлению под воздействием видимого излучения (плотность потока 700–1100 Вт/м²). Небольшая толщина плёнки обеспечивает глубокое проникновение излучения и инициирует сопряжённые процессы: фотохимическое восстановление серебра на центрах CuCl/Cu и химическое восстановление в объёме плёнки за счёт перехода аскорбиновой кислоты в возбуждённое состояние. В результате в течение 15–20 минут формируется сплошной высокоадгезионный электропроводящий слой. Экспериментально подтверждено, что полученный проводящий подслей обеспечивает высокую адгезию к полимерной матрице и позволяет получать равномерные, беспористые гальванические покрытия меди и никеля.

Практическая значимость работы заключается в разработке ресурсоэффективной и масштабируемой технологии металлизации химически инертных полиолефинов, открывающей перспективы применения в высокотехнологичных отраслях: электронной промышленности (гибкие печатные схемы, экранирующие покрытия); автомобилестроении (декоративные и износостойкие элементы); производстве функциональных композитов.

Ключевые слова: металлизация полимера, гальванопокрытия, серебро, медь, никель

Финансирование: Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP25793971 «Разработка многослойных металлизированных покрытий на полимерах для создания защитных экранов различного назначения от электромагнитных излучений».

Введение. Полипропилен, будучи универсальным термопластом, широко применяется в промышленности благодаря благоприятному сочетанию физико-механических свойств и технологичности переработки. Однако его использование в ряде технических областей ограничивается присущими недостатками: низкой ударной вязкостью, повышенной хрупкостью при низких температурах и значительной усадкой при формовании. Эффективным методом модификации, позволяющим преодолеть эти ограничения, является нанесение металлических покрытий. В результате формируются композитные системы, сочетающие преимущества полимерной основы (малая плотность, коррозионная стойкость, экономия металла) и металлического слоя, который обеспечивает повышенную износостойкость, термостабильность, химическую резистентность, улучшенные тактильные и декоративные характеристики (металлический блеск). Таким образом, металлизация полипропилена позволяет создать конкурентоспособные материалы, расширяющие функциональные границы применения данного полимера в высокотехнологичных отраслях (Mehdizadeh, et al., 2018).

Важным преимуществом металлизированных деталей является их электропроводность. В связи с этим разработаны и широкое применение имеет металлизация полимерных материалов при изготовления печатных плат (ПП), автомобильных компонентов и в средствах направленных на защиту от электромагнитных помех (EMI) (Melentiev, et al., 2022). Сегодня разработаны целый ряд методов нанесения металлических пленок на полимерные материалы. В данное время существует три основных метода металлизации полимеров: физическое осаждение из паровой фазы (PVD), химическое осаждение из паровой, газовой или жидкой фазы (CVD) и химическая электролитическая металлизация (ХЭМ). Сравнительный анализ этих трёх основных методов металлизации полимеров представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ основных методов металлизации полимеров

Параметр	PVD (Физическое осаждение из паровой фазы (Mai, et al., 2004))	CVD (Химическое осаждение из паровой фазы (Mai, et al., 2005))	Химическая (электролитическая (Pan, 2004)) металлизация
Температура процесса	Низкая — средняя (в зависимости от метода нагрева)	Высокая (до 1000 °C и выше)	Низкая (комнатная — 90 °C)
Необходимость вакуума	Обязателен (вакуумная камера)	Зависит от варианта (иногда требуется, но не всегда)	Не требуется
Оборудование	Сложное и дорогостоящее	Средней сложности (высокотемпературные реакторы)	Простое лабораторное или промышленное оборудование
Равномерность покрытия	Средняя (зависит от геометрии и расположения)	Высокая (при точном контроле параметров)	Высокая (даже на сложных геометриях)
Применение на полимерах	Ограничено (термочувствительность полимеров)	Ограничено (высокая температура разрушает полимеры)	Широко применимо, особенно для диэлектриков
Толщина покрытия	Тонкие покрытия (от нескольких нанометров до микронов)	От тонких до средних слоёв	От тонких до толстых (легко контролируется)
Энергозатраты	Высокие (электронные пушки, нагрев, вакуум)	Высокие (нагрев, реакторы)	Низкие
Тип реакций	Физическое осаждение	Химические газофазные реакции	Химическое восстановление в растворе
Катализаторы / электропроводность	Не требуются	Часто не требуются	Требуется предварительная активация поверхности
Сферы применения	Оптика, микроэлектроника, антикоррозийные покрытия	Микроэлектроника, теплозащита, антикоррозийные покрытия	Автомобилестроение, электроника, бытовая техника

Как видно из таблицы, наиболее эффективным и часто используемым в промышленности методом является химико-электролитический металлизация. Данный процесс включает несколько этапов:

- подготовка поверхности пластмассы, включающий в себя механическую обработку, обезжиривание, предтравление, травление, улавливание и обезвреживание раствора травления, промежуточные промывки;
- активация поверхности пластмасса путем создания каталитических центров, обеспечивающих инициирование реакции химического восстановления металла;
- химическое осаждение тонкого слоя металла (обычно 0,3-0,8 мкм) придающего поверхности пластмасса электропроводность, достаточную для последующего нанесения электрохимических покрытий;
- гальваническое осаждения основного металлического покрытия требуемой толщины.

При этом ключевой является стадия создание электропроводного подслоя, по которому и будет происходить электроосаждение основного металла [Aminul Islam, et al 2017]. Обычно способ создания подслоя является главным отличием всех известных технологий металлизации полимеров. В настоящее время экологический аспект имеет важное значение, и процесс химического меднения признан экологически вредным и потенциально опасным для здоровья человека (Scarazzato, et al, 2017).

Основные проблемы, связанные с использованием процесса химического меднения:

- Длительное время подготовки заготовок в процессе химического меднения (около 2 часов);
- Высокий уровень экологического ущерба;
- Необходимость постоянной работы с формалином;
- Использование каустической соды и подготовка каустического концентрата;
- Перекачивание раствора и наличие вспомогательной емкости;
- Необходимость добавления стабилизаторов в ванну;
- Нестабильность меднящего раствора;
- Значительный объем аналитических процедур;
- Частая необходимость корректировки процесса.

Современный рынок печатных плат требует высококачественной продукции, что предполагает использование новых технологий и современного оборудования. Одной из наиболее доступных альтернатив замене процесса химического меднения является технология, которая успешно вытесняет традиционные методы химического металлизирования, — прямая металлизация. В технологии гальванического покрытия полимеров термин «прямая металлизация» означает процесс нанесения гальванического покрытия на полимерные материалы без стадии восстановления меди и никеля.

Для обеспечения электрической проводимости (Dupenne, 2020), необходимой для последующего гальванического осаждения меди на стенки отверстий ПП, применяются следующие процессы (Augustyn et al, 2017):

- с использованием палладиево-оловянного активатора с полиоксиэтиленом;
- с использованием палладиево-оловянного активатора с ванилином;
- на основе преобразования палладия в сульфид палладия;
- технология Neoract, использующая свободный от олова палладий в коллоидной форме.

Эта группа методов прямой металлизации развивалась как усовершенствование технологии с химическим меднением. Каждый техпроцесс обладает определенными достоинствами и недостатками. Но в свою очередь, эти методы открыли путь к поиску возможности создания электропроводящих покрытий, предшествующих гальваническому меднению, на основе иных материалов — менее химически активных, чем палладий, и при этом более доступных по стоимости и простоте получения. В частности, селективное нанесение электропроводного полимерного покрытия привлекает все большее внимание как

реальная альтернатива химическому меднению. Преимущества этого метода — высокая производительность и надежность, хорошая совместимость с различными типами ламинатов, малое количество стадий и низкий уровень воздействия на окружающую среду. Интересным аспектом, который заслуживает особого внимания, является возможность модификации известных гальванических покрытий с применением фотохимических процессов, что дает возможность эффективного решения указанных проблем.

Для решения обозначенной проблемы авторами разработан метод низкотемпературного прямого нанесения электропроводящей серебряной плёнки на полипропилен. Ключевой стадией является формирование сорбционного активационного слоя посредством иммерсионной обработки в растворах нитрата серебра и аскорбиновой кислоты (Serikbayeva, et al., 2023).

Методика. Научные исследования проводились на полимерных пластинах из полипропилена с размерами 2см x 5см и толщиной 3мм. Для наглядного наблюдения за ходом химических и фотохимических процессов предпочтение отдавалось полимерам с светлыми оттенками. Все используемые реагенты были аналитической чистоты и соответствовали классификации "х.ч". Составы растворов и последовательность операций при металлизации полимеров представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Процессы и составы растворов, используемых в процессах металлизации полимеров

Процесс	Состав растворов
Обезжиривание	Na_3PO_4 - 20г/л, Na_2CO_3 — 20г/л.
Травление	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — 6,5%, H_2SO_4 — 93,5%
Нейтрализация	NaOH 10г/л
Активация	CuCl_2 100г/л
Получение электропроводного слоя	AgNO_3 20г/л $\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_6$ 40г/л
Гальваническая металлизация	1) $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 50г/л; H_2SO_4 - 50г/л; $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ - 50г/л. 2) NiSO_4 - 125г/л NiCl_2 — 25 г/л; H_3BO_3 — 25 г/л; $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ — 10 г/л.

Исходная поверхность полимера гидрофобна поэтому необходимо провести предварительную химическую обработку поверхности с целью придания ей гидрофильных свойств. Процесс обработки полимера начинается с использованием щелочного обезжиривателя, за которым следует тщательное промывание водой. После этого следующим шагом является обработка пластика травителем.

Продукты, образующиеся при предварительной обработке полимеров, анализировали методом ИК-спектроскопии.

Для исследования воздействия электромагнитных волн светового излучения в

работе использовались как солнечное излучение, так и излучение искусственного освещения от электроламп. Плотность потока излучения измерялась при помощи специального измерителя солнечного излучения SM 206-SOLAR и, в большинстве случаев, составляла от 800 до 1100 Вт/м².

Анализ структуры и состава полученных пленок проводился с использованием растрового электронного микроскопа ISM-6490-LV.

Для определения электропроводности образованных пленок применялся тестер для измерения сопротивления DT-830B. Адгезия серебряных покрытий к полимерной основе проверялась с помощью обычного скотча. Результаты указанных тестов были важными для дальнейшего изучения влияния ионов металла на поверхность пластика.

Свойства гальванических покрытий меди и никеля изучали методом рентгенофазового анализа

Результаты и обсуждения. В результате проведённой предварительной обработки полимерных образцов, включавшей механическое воздействие и химическое травление, на их поверхности формировался модифицированный слой. Согласно литературным данным (Gornukhina, 2006), данный слой содержит функциональные группы, такие как гидроксильные, карбонильные и альдегидные, связанные с частицами полимерной матрицы. Сформированные поверхности были исследованы методами ИК-спектроскопии. На рисунках 1 и 2 представлены ИК-спектры исходной и модифицированной полимерной подложки соответственно.

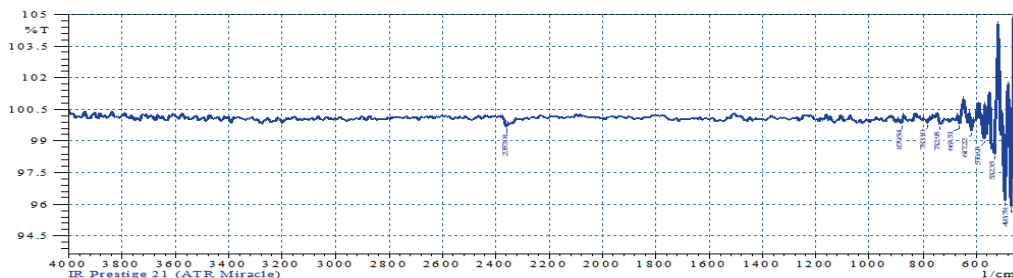


Рисунок 1 - ИК-спектр образца исходного полипропилена

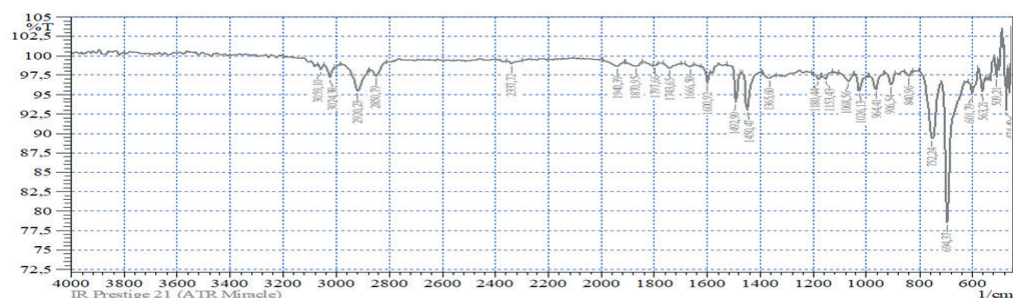


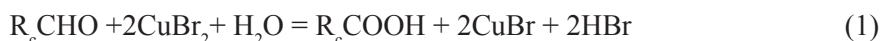
Рисунок 2 - ИК-спектр обработанной полимерной подложки

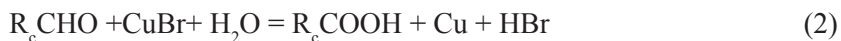
ИК-спектроскопия исходного полипропилена (рис. 1) выявила наличие характерных полос: валентных колебаний связей C–H (2357 см^{-1}), а также деформационных колебаний связей C–H в плоскости (663 см^{-1}) и вне плоскости (879 см^{-1}), что соответствует группам $-\text{CH}_2-$ и $=\text{C}-\text{H}$ соответственно (Тарасевич, 2012).

Анализ ИК-спектров (рис. 2) позволил идентифицировать ключевые структурные элементы. Поглощение в областях $3059,10\text{ см}^{-1}$, $2850,79\text{ см}^{-1}$ и $2920,23\text{ см}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям связей C–H в метиленовых ($-\text{CH}_2-$) и метильных ($-\text{CH}_3$) группах, характерным для полипропиленового скелета. Наличие широкой полосы поглощения в диапазоне $1450,47 - 1365,60\text{ см}^{-1}$ может свидетельствовать о присутствии фрагментов с гидроксильными группами ($-\text{OH}$). Сигналы в области $1068,56 - 1026,13\text{ см}^{-1}$ интерпретируются как валентные колебания связей C–O в простых эфирных или сложноэфирных фрагментах (например, $=\text{C}-\text{O}-\text{C}$), а не винильной группы, для которой более характерны иные частоты. Поглощения при $964,41\text{ см}^{-1}$, $752,24\text{ см}^{-1}$ и $694,37\text{ см}^{-1}$ относятся к деформационным колебаниям связей C–H и, вероятно, отражают регулярность (стереорегулярность) макромолекулярной структуры исходного полимера. Сравнительный анализ ИК-спектров исходного и подвергнутого обработке полипропилена однозначно подтверждает химическую модификацию поверхности. Критерием служит появление новых полос поглощения, характерных для карбонильных ($>\text{C}=\text{O}$, $\sim 1700-1750\text{ см}^{-1}$) и гидроксильных ($-\text{OH}$, $\sim 3200-3600\text{ см}^{-1}$) функциональных групп, что указывает на процессы окисления в ходе предварительной обработки.

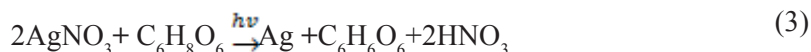
На поверхности полимера за счёт накопления карбонильных, гидроксильных и карбоксильных групп, относящихся к альдегидам, кетонам и кислотам, формируются различные функциональные группы, придающие поверхности смачиваемость.

После активации поверхности полипропилена с помощью смачивания в растворе дибромида меди с концентрацией 100 г/л и воздействия солнечного излучения, на поверхности образуется пленка, содержащая монобромид меди и элементную медь. Полученная пленка отличается хорошим сцеплением с основой, благодаря формированию ассоциатов с продуктами травления на поверхности. Образование монобромид меди и элементной меди в процессе травления полипропилена может быть представлено уравнениями, включающими соединения альдегидной или кетонной группы, такие как RcCHO .

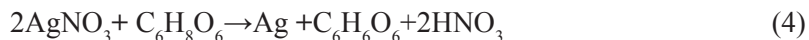




Нанесение токопроводящего слоя проводилось по запатентованному ранее способу (Патент на Изобретение РК № 36399). После промывки и сушки образца, проводилось смачивание водным раствором, содержащим нитрат серебра в диапазоне концентрации 20-40 г/л, аскорбиновая кислота в диапазоне 50-100 г/л. При этом на поверхности пластины оставался сорбционный слой этого раствора. В дальнейшем пластину подвергали воздействию электромагнитных волн видимого спектра солнечного излучения. В результате такого воздействия протекает фотохимическая реакция 3.



Но кроме этой реакции может протекать и чисто химическая реакция 4. Этому способствует довольно высокая концентрация аскорбиновой кислоты.



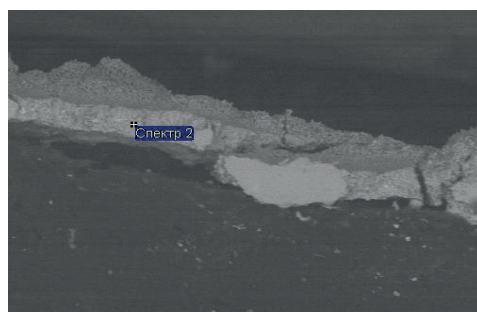
Таким образом, эффективные концентрации нитрата серебра и аскорбиновой кислоты обеспечивают образование слоя серебра с характерными физико-химическими свойствами металлического серебра, включая электронную проводимость.

Полученная электропроводная пленка серебра позволяет гальваническим методом нарастить слой практически любого металла до требуемой толщины.

В данной работе проводилось электроосаждение меди на образцах полипропилена гальваностатическим методом. Адгезия оценивается в 100% и может быть результатом связи меди с ядром Ag/ПП. СЭМ-микрофотографии (рис. 3) показывают, что размер зерна медной пленки увеличивался при повышении времени электролиза. При этом медное покрытие становится компактным, хорошо растекающимся по поверхности.



а



б

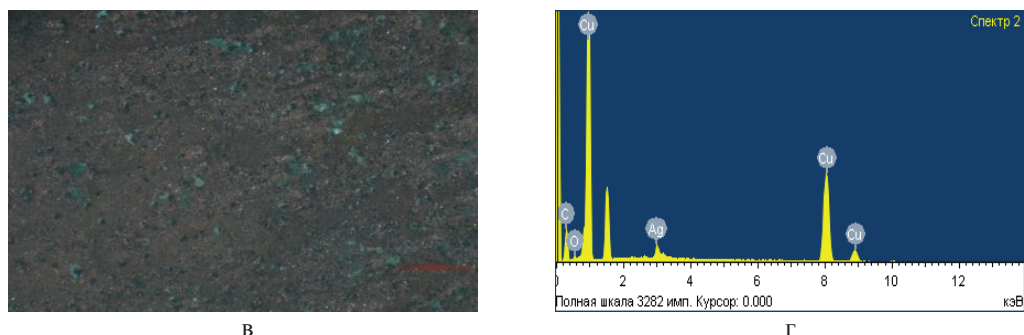


Рисунок 3 — Характеристики медного покрытия, полученного гальваническим методом:

а — общий вид поверхности покрытия (x100); б — микроструктура поперечного сечения (x100);
в — морфология поверхности (x1000); г — результаты анализа элементного состава.

Ag/ПП без каких-либо трещин и видимой геометрии кристаллов меди на микрофотографиях СЭМ. Медное покрытие, полученное в течение 15 мин, характеризуется глобулярной структурой. Эта морфология показывает, что на первом этапе формируется медное осаждение по форме Ag. Более длительное время электролиза влияет на текстуру, которая изменяется на компактные зерна кубической формы с геометрией кристаллографии меди.

Прочность на отрыв между гальваническим медным слоем и подложкой является важным показателем для оценки возможности передачи электронного сигнала. В этой работе медное покрытие после нанесения на подложку было испытано на царапание с помощью скотча. Тест скотча проводили над свежеприготовленными образцами (Hamill, et al., 2018). Медное покрытие с маркировкой реза оказалось прочным под быстро отслаивающейся лентой (рис. 4а). В соответствии со стандартом (ISO2409-1992) медное покрытие вообще не отрывалось (рис. 4б), демонстрируя превосходную адгезию для требуемого применения.

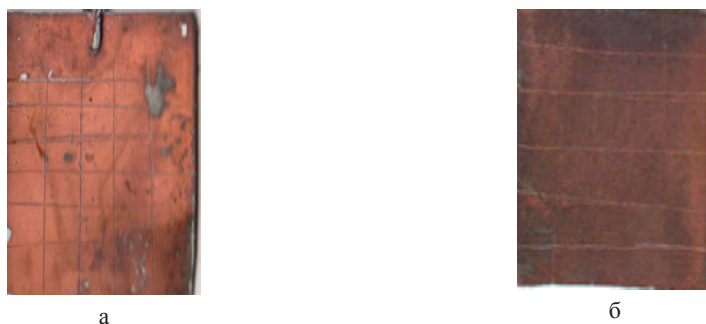


Рисунок 4 — Результаты испытания адгезии гальванического медного покрытия методом

решётчатых надрезов с использованием клейкой ленты: а — оценка обычного медного покрытия;
б — оценка медного покрытия, проведённая в соответствии со стандартом ISO 2409-1992.

Гальваническое покрытие Ni на подложках ПП тоже исследовалось. Электроосаждение Ni из промышленной ванны, упомянутое в экспериментальном

разделе, легко достигается, поскольку поверхность ПП уже обработана однородной серебрянной пленкой. Полученное никелевое покрытие однородный. СЭМ-изображения никелированных образцов ПП представлены на рис. 5. На микрофотографиях видна однородная никелевое покрытие с глобулярной структурой. Время электролиза оказывает большое влияние на морфологию покрытия. Образованный шаровидный форма увеличивается с увеличением времени электролиза, а текстура становится более плотной и гладкой.

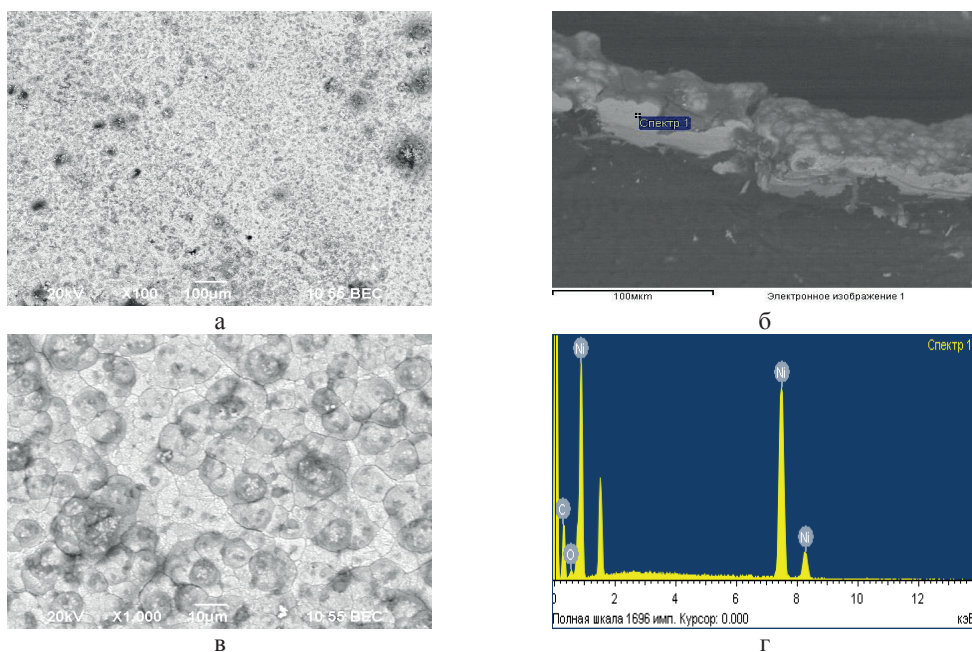


Рисунок 5 — Характеристики никелевого покрытия, полученного гальваническим методом: а — общий вид поверхности покрытия (x100); б — микроструктура поперечного сечения (x100); в — морфология поверхности (x1000); г — результаты анализа элементного состава.



Рисунок 6 — Испытание адгезии гальванического никелевого покрытия методом решётчатых надрезов: а — обычное никелевое покрытие; б — никелевое покрытие, соответствующее требованиям стандарта ISO 2409-1992.

Никаких трещин не наблюдается адгезия оцениваются в 100% от стандартного теста на клейкой ленте, подтверждающий высокое качество никелевого покрытия. Проведённые исследования показали возможность формирования серебряных плёнок на поверхности полипропилена в присутствии реагентов нитрата серебра и светового излучения. В результате на полимерных подложках, активированных указанными металлами, были получены гальванические покрытия меди и никеля, а также определены их физико-химические и физико-механические свойства. Состав гальванических покрытий, полученных на полимерных поверхностях с электропроводящим слоем серебра, был также подтвержден рентгеновским фазовым анализом (рис. 7).

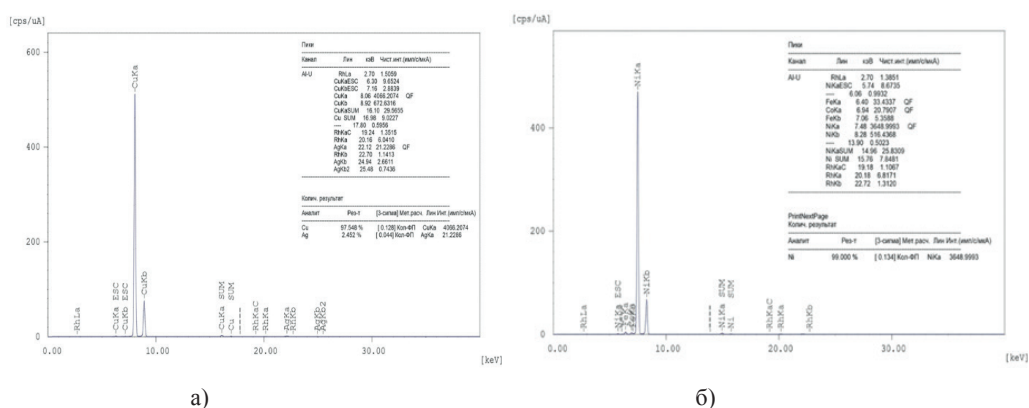


Рисунок 7 - Рентгенофазовый анализ гальванических покрытий меди и никеля, сформированных на полимерной подложке а) гальваническая мед; б) гальваническая никель;

По данным фазового анализа, на дифрактограмме зарегистрированы рефлексы, соответствующие металлической меди и никель, на фоне пиков исходного полимера. Разработана принципиальная схема формирования на поверхности полимера плёнок, обладающих электропроводящими свойствами (рис. 8).

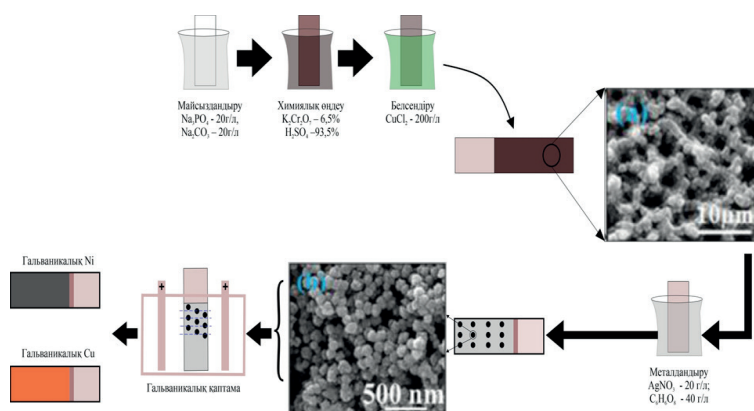


Рисунок 8 - Общие этапы процесса получения гальванического покрытия на поверхности полипропилена с использованием электропроводящего слоя.

Вывод. Проведенное исследование доказало эффективность разработанного метода металлизации полипропилена, основанного на формировании специального электропроводящего слоя. Ключевым фактором успеха стала комплексная подготовка поверхности, включающая ее механическую и химическую обработку с последующей активацией раствором хлорида меди для создания активных центров. Применение авторской методики нанесения сорбционной пленки позволило получить высокоадгезивный электропроводящий подслои, что обеспечило осаждение равномерных и качественных гальванических покрытий меди и никеля.

Научная значимость работы заключается в разработке целостной технологической цепочки, переводящей химически инертный диэлектрик в состояние, пригодное для стандартных процессов гальванопластики. Практическая ценность исследования подтверждается созданием конкурентоспособной технологии, которая открывает новые возможности для применения металлизированных полимеров в высокотехнологичных отраслях, таких как электроника, транспорт и системы связи. Таким образом, данная работа вносит существенный вклад в функционализацию полимерных материалов, предлагая надежное решение для их металлизации и расширяя потенциал промышленного использования.

Литература

- Aminul Islam, Hans Nørgaard Hansen, Peter Torben Tang, (2017) Direct electroplating of plastic for advanced electrical applications, CIRP Annals. — Volume 66. — Issue 1. — P 209-212. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.124>
- Augustyn P., Rytlewski P., Moraczewski K. et al. (2021) A review on the direct electroplating of polymeric materials. J Mater Sci 56. — P. 14881—14899. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06246-w>
- Dupenne D., Lonjon A., Dantras E., Pierré T., Lubineau M., Lacabanne C., (2020) Carbon fiber reinforced polymer metallization via a conductive silver nanowires polyurethane coating for electromagnetic shielding. J Appl Polym Sci, 50146. <https://doi.org/10.1002/app.50146>
- Gornukihna, O.V, (2005) Polypropylene surface modified with biologically active compounds. Dissertation of the Candidate of Chemical Sciences, Ivanovo State University of Chemical Technology
- Hamill L, Nutt S. (2018) Adhesion of metallic glass and epoxy in composite-metal bonding. Compos B Eng 134:186—92. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.044>
- Mai T.T., Schultze J.W., Staikov G. (2004) Relation between surface preconditioning and metal deposition in direct galvanic metallization of insulating surfaces. J Solid State Electrochem. — №8. — P. 201—208. <https://doi.org/10.1007/s10008-003-0426>
- Mai T.T., Schultze J.W., Staikov G., Muñoz A.G. (2005) Mechanism of galvanic metallization of CoS-activated insulating polymer surfaces. Thin Solid Films. — Vol. 488. — Iss.1—2. — P. 321-328. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.04.069>
- Mehdizadeh M, Khorasani M, Lari Baghal SM. (2018) Direct electroplating of nickel on ABS plastic using polyaniline—silver surface composite synthesized using different acids. J Coatings Technol Res 15:1433—42. <https://doi.org/10.1007/s11998-018-0075-2>
- Pan C.T. (2004) Selective electroless copper plating micro-coil assisted by 248 nm excimer laser // Microelectronic Engineering. — Vol. 71. — Iss. 3—4. — P.242-251. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2003.12.003>
- Ruslan Melentiev, Arief Yudhanto, Ran Tao, Todor Vuchkov, Gilles Lubineau, (2022) Metallization of polymers and composites: State-of-the-art approaches, Materials & Design, Volume 221, 110958, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110958>
- Scarazzato Z. Panossian J.A.S. Tenório V. Pérez-Herranz D.C.R. Espinosa (2017) A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis, Journal of Cleaner Production. — Volume 168. — P. 1590-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.152>

Serikbayeva B. (2024). Полимерлердің тікелей фотохимиялық күмістенуі. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences, (1). — P. 230—243. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.269>

Serikbayeva B.; Satayev M., Koshkarbayeva S.; Azimov A.; Amanbayev K.; Sagitova G.; Suigenbayeva A.; Narmanov M.; Kolesnikov A. (2023) Photochemical Metallization: Advancements in Polypropylene Surface Treatment. Polymers, 15, 3687. <https://doi.org/10.3390/polym15183687>

Патент на Изобретение РК. — № 36399.

Тарасевич Б.Н. (2012) Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК-спектроскопии—М.: МГУ. — 222 с.

References

Aminul Islam, Hans Nørgaard Hansen, Peter Torben Tang, (2017) Direct electroplating of plastic for advanced electrical applications, CIRP Annals. — Volume 66. — Issue 1. — P 209-212. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.124> (in English)

Augustyn P., Rytlewski P., Moraczewski K. et al. (2021) A review on the direct electroplating of polymeric materials. J Mater Sci 56. — P. 14881—14899. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06246-w> (in English)

Dupenne D, Lonjon A, Dantras E, Pierré T, Lubineau M, Lacabanne C, (2020) Carbon fiber reinforced polymer metallization via a conductive silver nanowires polyurethane coating for electromagnetic shielding. J Appl Polym Sci, 50146. <https://doi.org/10.1002/app.50146> (in English)

Gornukihna, O.V, (2005) Polypropylene surface modified with biologically active compounds. Dissertation of the Candidate of Chemical Sciences, Ivanovo State University of Chemical Technology (in English)

Hamill L, Nutt S. (2018) Adhesion of metallic glass and epoxy in composite-metal bonding. Compos B Eng 134:186—92. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.044> (in English)

Mai T.T., Schultze J.W., Staikov G. (2004) Relation between surface preconditioning and metal deposition in direct galvanic metallization of insulating surfaces. J Solid State Electrochem. — №8. — P. 201—208. <https://doi.org/10.1007/s10008-003-0426> (in English)

Mai T.T., Schultze J.W., Staikov G., Muñoz A.G. (2005) Mechanism of galvanic metallization of CoS-activated insulating polymer surfaces. Thin Solid Films. — Vol. 488. — Iss.1—2. — P. 321-328. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.04.069> (in English)

Mehdizadeh M, Khorasani M, Lari Baghal SM. (2018) Direct electroplating of nickel on ABS plastic using polyaniline—silver surface composite synthesized using different acids. J Coatings Technol Res 15:1433—42. <https://doi.org/10.1007/s11998-018-0075-2> (in English)

Pan C.T. (2004) Selective electroless copper plating micro-coil assisted by 248 nm excimer laser // Microelectronic Engineering. — Vol. 71. — Iss. 3—4. — P.242-251. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2003.12.003> (in English)

Patent na Izobretenie RK. — № 36399 [Patent for Invention RK № 36399] (in Russian)

Ruslan Melentiev, Arief Yudhanto, Ran Tao, Todor Vuchkov, Gilles Lubineau, (2022) Metallization of polymers and composites: State-of-the-art approaches, Materials & Design. — Volume 221, 110958. — ISSN 0264-1275. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110958> (in English)

Scarazzato Z. Panossian J.A.S. Tenório V. Pérez-Herranz D.C.R. Espinosa (2017) A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis, Journal of Cleaner Production. — Volume 168. — P. 1590-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.152> (in English)

Serikbayeva B.; Satayev M.; Koshkarbayeva S.; Azimov A.; Amanbayeva K.; Sagitova G.; Suigenbayeva A.; Narmanov M.; Kolesnikov A. (2023) Photochemical Metallization: Advancements in Polypropylene Surface Treatment. Polymers, 15, 3687. <https://doi.org/10.3390/polym15183687> (in English)

Serikbayeva, B. (2024). Polimerlerдің тікелей фотохимиялық күмістенуі [Direct photochemical silvering of polymers] Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. — P. 230—243. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.269> (in Kazakh).

Tarasevich B.N. (2012) Osnovy IK-spektroskopii s pereobrazovaniem Fur'e. Podgotovka prob v IK-spektroskopii [Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Sample preparation in IR spectroscopy] — М.: МГУ, - 222 s (in Russian).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 4.

«Central Asian Academic Research Center» LLP

Алматы, Қонаев к-сі, 142