

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3
2026**

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

2026 • 3



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960> <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial Board:

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

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

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

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%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 Жабағәевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: физика, химия.

Периодичность: 4 раза в год.

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

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

CONTENTS

PHYSICS

Aliuly A., Kaltayev A.

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

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

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

Nurbayev B., Dmitriyeva E., Kemelbekova A.

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

Seitov A., Amanzholov T.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHEMISTRY

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

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

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

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

Bishimbaev V.K., Kapsalyamov B.A.

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

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

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

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

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

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

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

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

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

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

SnTaO₂N негізіндегі тар тыйым салынған аймақты фотокатализаторды алу және зерттеу.....33

Нұрбаев Б., Дмитриева Е., Кемелбекова А.

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

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

Бишимбаев В.К., Капсаямов Б.А.

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

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

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

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

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



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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Әлиұлы А., Калтаев А.

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

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

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

Сейтов А.Н., Аманжолов Т.Е.

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

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

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

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

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

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

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

Бишимбаев В.К., Капсалямов Б.А.

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 3.
Number 359 (2026), 223-238

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.472>

UDC: 544.77:546.57: 615.28:581.19
IRSTI: 31.23.01; 31.21.29

©Dyusebaeva M.A.¹, Berganayeva A.E.^{1*}, Ibragimova N.A.², Utaraliev D.M.¹,
Berganayeva G.E.¹, 2026.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh-German University (DKU), Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: aberganayeva@bk.ru

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING THE *N*-BUTANOL FRACTION OF *GALEGA OFFICINALIS* L.

Dyusebaeva Moldyr — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Berganayeva Aliya — Master of Chemical Technology of Inorganic Substances, Senior Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: aberganayeva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1417-2992>;

Ibragimova Nailya — Candidate of Biological Sciences, Kazakh-German University (DKU), Almaty, Kazakhstan,

E-mail: nailya.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Utaraliev Damil — Junior Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: damilutaraliev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1642-2171>;

Berganayeva Gulzat — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Abstract. This study aimed to synthesize silver nanoparticles by a green method using the *n*-butanol fraction of *Galega officinalis* L. as a natural reducing and stabilizing agent and to evaluate their physicochemical characteristics and biological activity. For synthesis, 0,3 g of the fraction was mixed with 300 mL of 1% AgNO₃ at pH 9,0 and 90 °C. The product was characterized by UV–Vis, FTIR, SEM, and EDS. A surface plasmon resonance band occurred at 460 nm. FTIR indicated the involvement of organic components. Analysis of 100 particles in SEM micrographs showed a predominantly spherical morphology, a size range of 46–187 nm, and an average size of approximately 99 nm. EDS showed that silver was the predominant element at 77,74 wt%. The sample inhibited protein denaturation by 58.50% and showed membrane-stabilizing activity of 54,68% and 59,03% at concentrations of 1% and 10%, respectively. Growth inhibition zones were 14,17 ± 1,07 mm for *Escherichia coli*, 11,0 ± 0.0 mm for *Staphylococcus*

aureus, and $7,83 \pm 0,76$ mm for *Candida albicans*; no inhibition was observed against *Pseudomonas aeruginosa*. The results support use of the *n*-butanol fraction of *G. officinalis* to obtain biologically active silver-containing nanoscale particles. X-ray diffraction and control studies are needed to confirm crystalline Ag⁰ and distinguish component contributions.

Keywords: *Galega officinalis* L., silver nanoparticles, green synthesis, anti-inflammatory activity, antimicrobial activity

Funding: This research was carried out within the framework of the Program-Targeted Funding for 2025–2027 of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR28713093), “Development of Domestic Pharmaceutical Substances and Drugs Based on Natural and Synthetic Biologically Active Substances”.

For citations: Dyusebaeva M.A., Berganayeva A.E., Ibragimova N.A., Utaraliyev D.M., Berganayeva G.E. Green synthesis of silver nanoparticles using the *n*-butanol fraction of *Galega officinalis* L. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.3. Pp. 223-238. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.472>

©Дюсебаева М.А.¹, Берганаева А.Е.^{1*}, Ибрагимова Н.А.², Утаралиев Д.М.¹,
Берганаева Г.Е.¹, 2026.

¹эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Қазақстан-Неміс университеті (DKU), Алматы, Қазақстан.

*E-mail: aberganayeva@bk.ru

GALEGA OFFICINALIS L. ӨСІМДІГІНІҢ N-БУТАНОЛДЫҚ ФРАКЦИЯСЫ АРҚЫЛЫ КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРІН ЖАСЫЛ СИНТЕЗДЕУ

Дюсебаева Мольдыр — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Берганаева Алия — бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы магистрі, аға ғылыми қызметкер, эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: aberganayeva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1417-2992>;

Ибрагимова Найля — биология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан-Неміс университеті (DKU), Алматы, Қазақстан,
E-mail: nailya.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Утаралиев Дамиль — кіші ғылыми қызметкер, эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: damiluturaliev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1642-2171>;

Берганаева Гульзат — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Аннотация. Зерттеудің мақсаты. *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын табиғи тотықсыздандырғыш және тұрақтандырғыш

ретінде пайдаланып, күміс нанобөлшектерін жасыл әдіспен синтездеу, олардың физика-химиялық сипаттамалары мен биологиялық белсенділігін бағалау болды. Синтез үшін фракцияның 0,3 г мөлшері рН 9,0 және 90 °C жағдайында 1%-дық AgNO_3 ерітіндісінің 300 мл көлемімен әрекеттестірілді. Алынған материал ультракүлгін-көрінетін спектроскопия (UV–Vis), Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR), сканерлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) және энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдістерімен сипатталды. UV–Vis спектрінде 460 нм-де беттік плазмондық резонанс жолағы тіркелді. СЭМ микрофотосуреттеріндегі 100 бөлшекті талдау олардың негізінен сфералық пішінді, өлшемдері 46–187 нм және орташа өлшемі шамамен 99 нм екенін көрсетті. EDS нәтижелері күмістің басым элемент екенін және оның мөлшері 77,74 мас.% құрайтынын анықтады. FTIR деректері органикалық компоненттердің қатысуын көрсетті. Синтезделген үлгі ақуыз денатурациясын 58,50%-ға тежеп, 1% және 10% концентрацияларда тиісінше 54,68% және 59,03% мембрананы тұрақтандырушы белсенділік көрсетті. Микробқа қарсы сынақта өсу тежелу аймақтары *Escherichia coli* үшін $14,17 \pm 1,07$ мм, *Staphylococcus aureus* үшін $11,0 \pm 0,0$ мм және *Candida albicans* үшін $7,83 \pm 0,76$ мм болды; *Pseudomonas aeruginosa*-ға қарсы әсер байқалмады. Нәтижелер *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын биологиялық белсенді, құрамында күміс бар наноөлшемді бөлшектер алуда қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Металдық Ag^0 кристалдық фазасын растау және жекелеген компоненттердің үлесін анықтау үшін рентгенфазалық және бақылау зерттеулері қажет.

Түйін сөздер: *Galega officinalis* L, күміс нанобөлшектері, жасыл синтез, қабынуға қарсы белсенділік, микробқа қарсы белсенділік

©Дюсебаева М.А.¹, Берганаева А.Е.^{1*}, Ибрагимова Н.А.², Утаралиев Д.М.¹,
Берганаева Г.Е.¹, 2026.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-немецкий университет (DKU), Алматы, Казахстан.

*E-mail: aberganayeva@bk.ru

ЗЕЛЕНЬЙ СИНТЕЗ СЕРЕБРЯНЫХ НАНОЧАСТИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ N-БУТАНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ *GALEGA OFFICINALIS* L.

Дюсебаева Мольдыр — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Берганаева Алия — магистр химической технологии неорганических веществ, старший научный сотрудник, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: aberganayeva@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1417-2992>;

Ибрагимова Найля — кандидат биологических наук, Казахстанско-немецкий университет (DKU), Алматы, Казахстан,

E-mail: nailya.73@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1618-900X>;

Утаралиев Дамиль — младший научный сотрудник, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: damilutalaraliyev@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1642-2171>;

Берганаева Гульзат — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: berganaeva.gulzat@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>.

Аннотация. Цель исследования — зеленый синтез наночастиц серебра с использованием *n*-бутанольной фракции *Galega officinalis* L. в качестве природного восстановителя и стабилизатора, а также оценка их физико-химических характеристик и биологической активности. Для синтеза 0,3 г фракции смешивали с 300 мл 1%-ного раствора AgNO_3 при pH 9,0 и температуре 90 °C. Полученный материал охарактеризован методами электронной спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой областях (UV–Vis), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS). В спектре UV–Vis зарегистрирована полоса поверхностного плазмонного резонанса при 460 нм. Данные FTIR указали на участие органических компонентов. Анализ 100 частиц на СЭМ-микрофотографиях показал их преимущественно сферическую форму, при этом диапазон размеров составил 46–187 нм и средний размер — около 99 нм. По данным EDS серебро являлось преобладающим элементом и составляло 77,74 мас.%. Синтезированный образец ингибировал денатурацию белка на 58,50% и проявил мембраностабилизирующую активность 54,68% и 59,03% при концентрациях 1% и 10% соответственно. В антимикробном тесте зоны задержки роста составили $14,17 \pm 1,07$ мм для *Escherichia coli*, $11,0 \pm 0,0$ мм для *Staphylococcus aureus* и $7,83 \pm 0,76$ мм для *Candida albicans*; в отношении *Pseudomonas aeruginosa* ингибирующий эффект отсутствовал. Результаты показывают возможность применения *n*-бутанольной фракции *G. officinalis* для получения биологически активных серебросодержащих наноразмерных частиц. Для подтверждения кристаллической фазы металлического Ag^0 и определения вклада отдельных компонентов необходимы рентгенофазовые и сравнительные контрольные исследования.

Ключевые слова: *Galega officinalis* L, наночастицы серебра, зеленый синтез, противовоспалительная активность, антимикробная активность

Кіріспе. Соңғы екі онжылдықта күміс нанобөлшектері (AgNPs) бірегей физика-химиялық және биологиялық қасиеттеріне байланысты металл наноматериалдарының кеңінен зерттелген кластарының біріне айналды (Fahim et al., 2024; Abada et al., 2024). Өсімдік сығындыларын пайдалана отырып күміс нанобөлшектерін (AgNPs) «жасыл» синтездеуге арналған зерттеулер санының көптігіне қарамастан (Fahim et al., 2024; Eker et al., 2024; Khan et al., 2023; Liti et al., 2025), бұл бағытты жаңа өсімдік шикізатын қолдану арқылы дамыту әлі де ғылыми қызығушылық тудырады. Сонымен қатар, қазіргі кезде тұтас өсімдік экстракттарынан биологиялық белсенді заттардың белгілі бір топтарымен

байытылған фракцияларды қолдануға көшу ерекше маңызға ие. Мұндай тәсіл өсімдік метаболиттерінің нанобөлшектердің түзілуі мен тұрақтануындағы рөлін нақтырақ бағалауға, сондай-ақ өсімдік шикізатының химиялық құрамы, алынған нанобөлшектердің сипаттамалары және олардың биологиялық қасиеттері арасындағы өзара байланысты анықтауға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты, *Galega officinalis* L. (ешкішөп, ешкібұршақ) өсімдігі әртүрлі кластағы екінші реттік метаболиттерге бай дәрілік өсімдік ретінде ерекше қызығушылық тудырады. Дегенмен, осы өсімдікті пайдалана отырып нанобөлшектерді «жасыл» синтездеуге арналған жарияланған зерттеулердің көпшілігінде тұтас сулы немесе су-этанолды сығындылар қолданылады (Martínez-Cisterna et al., 2025; Varjovi et al., 2023). Сұйық-сұйық фракциялау әдісі арқылы алынған *G. officinalis* өсімдігінің жекелеген фракцияларын пайдалану мәселесі әлдеқайда аз зерттелген; атап айтқанда, күміс нанобөлшектерін синтездеу үшін *n*-бутанолды фракцияны қолдану және олардың биологиялық қасиеттерін кейіннен бағалау туралы ақпарат әлі де шектеулі.

Бұл зерттеудің ғылыми маңыздылығы тек күміс нанобөлшектерінің биогенді синтезімен ғана емес, сонымен қатар Ag^+ иондарын тотықсыздандыруға және түзілетін нанобөлшектердің бетін тұрақтандыруға қатыса алатын табиғи қосылыстардың көзі ретінде *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын пайдаланумен де айқындалады.

Осылайша, бұл зерттеудің мақсаты *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанол фракциясын пайдалана отырып, AgNPs «жасыл» синтездеу, олардың физика-химиялық сипаттамаларын анықтау және биологиялық белсенділігін кешенді бағалау болды. Мұндай тәсіл стандартталған өсімдік фракциясын қолдану, күміс нанобөлшектерінің түзілуі және олардың биологиялық белсенділігі арасындағы байланысты айқындайды; бұл биомедициналық мақсаттағы наноматериалдарды алудың экологиялық таза әдістерін әзірлеу тұрғысынан маңызды болып табылады.

Материалдар мен әдістер. *Реагенттер:* химиялық таза дәрежесіндегі (ХТ) күміс нитраты (AgNO_3), натрий гидроксиді (NaOH), этанол, гексан, дихлорметан, этилацетат және *n*-бутанол. Барлық реагенттер «Лаборфарма» ЖШС-нен (Қазақстан) сатып алынды. Ерітінділерді дайындау үшін деионизацияланған су пайдаланылды.

Galega officinalis L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын алу. Зерттеу үшін гүлдеукезеңінде жиналған *G. officinalis* өсімдігінің жерүсті бөліктері пайдаланылды. Өсімдік шикізаты тікелей күн сәулесінен қорғалған, жақсы желдетілетін орында бөлме температурасында тұрақты салмаққа дейін кептірілді. Кептірілген шикізат біртекті ұнтақ күйіне дейін ұсақталды. Ұнтақталған өсімдік шикізатының 850,00 г мөлшері бөлме температурасында, мерзімді түрде араластыра отырып, 50 %-дық су-этанол ерітіндісімен 72 сағат бойы экстракцияланды. Алынған сығынды сүзіліп, 45–50 °C температурада вакуум астында концентрленді, содан кейін ылғал толық жойылғанға дейін лиофилді кептіргіш арқылы кептірілді. Нәтижесінде, құрамында экстракцияланатын биологиялық белсенді қосылыстар кешені бар 144,40 г (16,98 %) құрғақ жиынтық су-этанол сығындысы алынды.

Алынған экстракт әрі қарай пайдаланылғанға дейін герметикалық жабық ыдыста тоңазытқыш камерасында сақталды.

Жиынтық сулы-этанолды сығындының құрамдас бөліктерін бөлу үшін сатылы сұйықтық-сұйықтық фракциялау жүргізілді. Құрғақ сығынды (144,40 г) толық ерігенше жақсылап араластыра отырып, 700 мл деионизацияланған суда ерітілді. Алынған сулы ерітінді бөлгіш құйғышта полярлығы әртүрлі органикалық еріткіштермен кезекпен экстракцияланды. Әр кезеңде экстракция үш рет жүргізіліп, сәйкес органикалық фазалар біріктірілді. Еріткіштер келесі кезекпен қолданылған: *n*-гексан (600 мл), дихлорметан (600 мл), этилацетат (800 мл) және *n*-бутанол (600 мл). Әр кезеңнен кейін органикалық фаза бөлініп алынды, ал сулы фаза келесі еріткішпен экстракциялауға жіберілді. Біріктірілген органикалық фазалар еріткіш толығымен кеткенше роторлы буландырғышта буландырылды. Сатылы фракциялау нәтижесінде массасы 2,79 г (1,93 %) *n*-гексан, 46,18 г (31,98 %) дихлорметан, 1,69 г (1,17 %) этилацетат және 5,27 г (3,65%) *n*-бутанол фракциялары алынды. Бөліп алынған фракциялар әрі қарай талдау жүргізілгенге дейін герметикалық жабылған ыдыстарда сақталды. Экстракция және фракциялау тәсілі еріткіш құрамы мен жекелеген кезеңдердің шарттарына шағын өзгерістер енгізіле отырып, Badeggi және т.б. (Badeggi, 2020) жұмысы негізінде бейімделді.

Күміс нанобөлшектерін алу әдісі. AgNPs синтездеу үшін *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясының 0,3 г мөлшері үздіксіз араластыру жағдайында 10 мл деионизацияланған суда ерітілді. Содан кейін алынған ерітіндіге концентрациясы 0,059 М болатын 1%-дық AgNO₃ ерітіндісінің 300 мл-і біртіндеп қосылды. Реакциялық қоспаның рН мәні 0,02 М NaOH ерітіндісін пайдалану арқылы 9,0 деңгейіне дейін реттелді. Реакция 90 °С температурада жүргізілді. Күміс нанобөлшектерінің түзілу барысы реакциялық қоспа түсінің ашық сарыдан қою қоңырға біртіндеп өзгеруі арқылы бақыланды; бұл құбылыс күміс иондарының тотықсыздануымен және беттік плазмондық резонанстың басталуымен байланысты. Синтезден кейін алынған нанобөлшектер сүзіліп, деионизацияланған сумен бірнеше рет жуылды және кептірілді.

Күміс нанобөлшектерін сипаттау. Нанобөлшектердің түзілуі мен физика-химиялық қасиеттері заманауи аналитикалық әдістер кешенін қолдану арқылы зерттелді: ультракүлгін-көрінетін аймақтағы спектроскопия (Agilent спектрофотометрі, АҚШ) және Фурье-түрлендіргішті инфрақызыл спектроскопия Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR) (ALPHA II спектрометрі, Bruker Optics GmbH, Германия). Күміс нанобөлшектерінің морфологиясы мен өлшемі сканерлеуші электрондық микроскопия (Кремнийлі дрейфтік детектормен (SDD) жабдықталған Oxford Instruments X-Plore 30 энергодисперсиялық рентгендік микроанализ (EDX) жүйесімен қамтамасыз етілген SEM5000Pro (CIQTEK, Қытай) сканерлеуші электрондық микроскопы) көмегімен қарастырылды. Синтезделген нанобөлшектердің элементтік құрамы энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия (EDS) әдісімен талданды.

СЭМ-микрофотосуреттер бойынша нанобөлшектердің өлшемдері сандық кескіндерді морфометриялық талдау әдісімен анықталды. Алдымен кескін

микрофотосуретте көрсетілген 500 нм масштабтық сызық бойынша калибрленді. Талдау үшін микрофотосуреттің әртүрлі аймақтарынан шекаралары анық көрінетін 100 нанобөлшек кездейсоқ таңдалды ($n = 100$). Агломераттар құрамынан контурлары анық ажыратылатын жеке бөлшектер ғана өлшенді. Әр бөлшектің ең үлкен көлденең өлшемі нанометрмен анықталды. Орташа өлшемді есептеу үшін барлық 100 бөлшектің өлшемдері қосылып, алынған мән 100-ге бөлінді. Өлшемдік таралуды бағалау үшін нәтижелер 20 нм аралықтарға топтастырылды. Әр аралыққа кіретін бөлшектер саны анықталып, олардың жалпы зерттелген бөлшектер санына қатысты пайыздық үлесі есептелді. Зерттелген бөлшектердің жалпы саны 100 болғандықтан, әр аралықтағы бөлшектер саны олардың пайыздық үлесіне сәйкес келді. Алынған нәтижелер өлшемдік таралу гистограммасы түрінде ұсынылды.

Биологиялық белсенділікті зерттеу. Қабынуға қарсы белсенділік ақуыздың термиялық денатурациясын тежеу әдісі арқылы анықталды (Madhuranga et al., 2023). Мембрананы тұрақтандырушы белсенділік гипотония әсерінен туындайтын эритроциттер гемолизі әдісі арқылы зерттелді (Ameena et al., 2023). Микробқа қарсы белсенділік *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* және *Candida albicans* тест-штамдарына қатысты агарға диффузия әдісі арқылы зерттелді (Dyusebaeva et al., 2023).

Микроорганизмдердің тәуліктік дақылдары 37 °C температурада өсірілді. Бактериялық суспензиялар стерильді физиологиялық ерітіндіде дайындалып, МакФарланд шкаласы бойынша 0,5 көрсеткішіне дейін стандартталды. Алынған суспензия тұтас егу әдісімен тығыз коректік ортаның (ет-пептонды агар) бетіне біркелкі таратылды. Бактериялық газонның біркелкілігі көзбен бағаланды. Тежелу аймақтары 1 мм дәлдікпен миллиметрлік сызғыш арқылы өлшенді. Егіс тұтастығы бұзылған немесе дискілер ығысқан тәжірибелер талдауға енгізілмеді.

Диаметрі 6 мм болатын стандартты стерилді қағаз дискілерге бірдей көлемде және бірыңғай 1%-дық концентрацияда зерттелетін субстанциялар сіңірілді. Әр дискіге 25 мкл ерітінді енгізілді, бұл нәтижелердің өзара салыстырмалылығын қамтамасыз етті. Дискілер егілген агар бетіне бірдей арақашықтықты сақтай отырып орналастырылды. Бақылау дискілеріне белсенді зат қосылмаған еріткіш енгізілді. Петри табақшалары 37 °C температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Инкубация аяқталғаннан кейін дискілердің айналасындағы микроорганизмдердің өсуін тежеу аймақтарының диаметрлері миллиметрмен өлшенді.

Әрбір анықтау үш тәуелсіз қайталауда жүргізілді. Тежелу аймағының диаметрі қағаз дискінің диаметрін (6 мм) қоса есептегенде, бір-біріне перпендикуляр екі бағытта өлшеніп, орташа мәні есептелді: $D = (D1 + D2) / 2$, мұндағы (D1) - тежелу аймағының бірінші бағытта өлшенген диаметрі, мм; (D2) - бірінші бағытқа перпендикуляр өлшенген екінші диаметр, мм.

Нәтижелер миллиметрмен көрсетілді. Алынған деректер статистикалық өңделіп, орташа мән (M) $\pm$ стандартты ауытқу түрінде ұсынылды. Тежелу аймағының болмауы «—» белгісімен көрсетілді. Тежелу аймақтарының шекті мәндері скрининг жүргізу және зерттелетін субстанциялардың белсенділігін

салыстырмалы бағалау мақсатында шартты түрде белгіленді: ≥ 25 мм — жоғары белсенділік, 15–24 мм — орташа белсенділік, ≤ 14 мм — төмен белсенділік, тежелу аймағының болмауы — белсенділіктің жоқтығы. Бұл шекті мәндер CLSI ұйымының жалпы қағидаттарын ескере отырып, тек салыстырмалы скринингтік бағалау үшін қолданылды (Wayne, 2023).

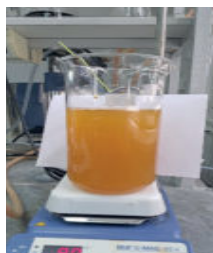
Дискайналасындағы ингибитордың концентрациясы минималды ингибирлеуші концентрациядан (МИК) жоғары болған аймақта микроорганизмдердің өсуі байқалмайды. Зерттеу скринингтік сипатта болғандықтан, стандартты микробқа қарсы салыстыру препараттары қолданылмады.

Нәтижелер мен талқылаулар. Күміс нанобөлшектерін «жасыл» әдіс арқылы алу. Күміс нитраты ерітіндісін *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясымен араластырған кезде, реакциялық қоспа түсінің ашық сарыдан қанық қоңыр түске біртіндеп өзгеруі байқалды (1-сурет). Түстің мұндай өзгеруі нанобөлшектердің түзілуінің тән визуалды көрсеткіші болып табылады және Ag^+ иондарының металл күміске (Ag^0) дейін тотықсыздануымен байланысты.



G. officinalis *n*-BuOH
экстракты + AgNO_3

а



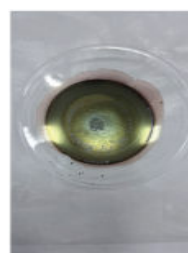
G. officinalis *n*-BuOH
экстракты + AgNO_3 +
NaOH

б



G. officinalis *n*-BuOH
экстракты + AgNO_3 +
NaOH (3 сағаттан кейін)

в



AgNPs
лиофилизациядан
кейін

г

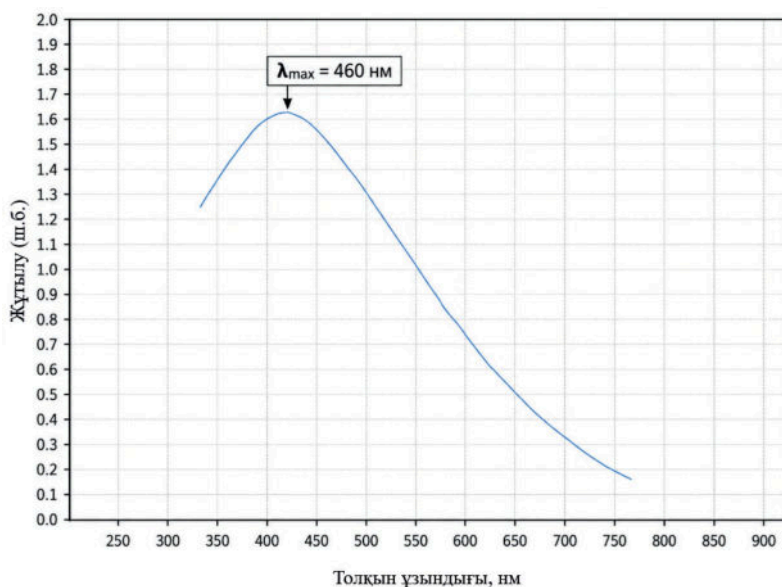
Сурет 1. *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанол фракциясын пайдалана отырып күміс нанобөлшектерін жасыл синтездеудің негізгі кезеңдері.

Синтез рН 9 мәнінде және 90 °С температурада жүргізілді. Мұндай жағдайлардың таңдалу себебі мынада: әлсіз сілтілі орта өсімдік фракциясындағы биологиялық белсенді компоненттердің тотықсыздандыру қабілетін арттырады, ал жоғары температура тотықсыздану және нанобөлшектердің түзілу процестерін жеделдетеді. *G. officinalis* өсімдігінің құрамындағы фенолдық қосылыстар, флавоноидтар және басқа да екінші реттік метаболиттер Ag^+ иондарын тотықсыздандыру процесіне қатысады деп болжанады. Сонымен қатар, өсімдік фракциясындағы қосылыстар (фенолдық қосылыстар, флавоноидтар және т.б.) түзілген нанобөлшектердің бетін тұрақтандыруға және олардың агрегациялануына жол бермеуге ықпал етуі мүмкін.

Күміс нанобөлшектерінің спектроскопиялық және морфологиялық талдау нәтижелері

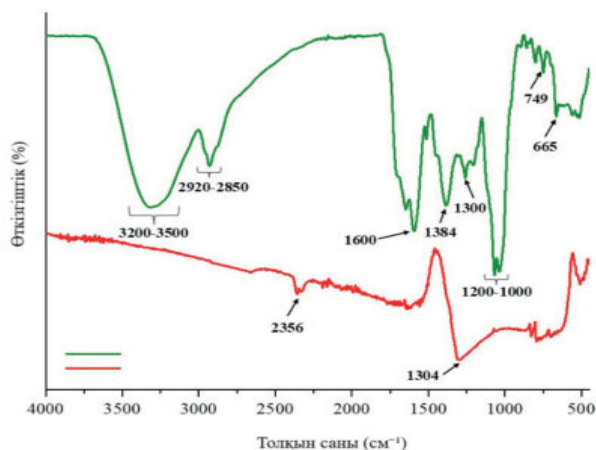
УК-көрінетін аймақтағы спектроскопия (UV-Vis). AgNPs үлгісінің спектрінде

(2-сурет) күміс нанобөлшектерінің беттік плазмондық резонансына (БПР) жатқызылатын, максимумы 460 нм болатын қарқынды жұтылу жолағы байқалды. Бұл мән өсімдік сығындыларының көмегімен синтезделген AgNPs үшін БПР максимумы әдетте 410–470 нм аралығында болатынын көрсететін әдебиет деректерімен сәйкес келеді (Martínez-Cisterna, 2025). БПР жолағының орналасуы нанобөлшектердің өлшемі мен пішініне, олардың агрегациялану дәрежесіне және өсімдік сығындысының биологиялық белсенді компоненттерінен түзілген органикалық қабықшаның құрамына байланысты екенін атап өткен жөн. Зерттеліп отырған үлгідегі 460 нм толқын ұзындығындағы максимум күміс нанобөлшектердің түзілгенін көрсетеді және бөлшектердің негізінен сфералық пішінге ие болуы мүмкін екенін меңзейді.



Сурет 2. *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанол фракциясының көмегімен синтезделген күміс нанобөлшектерінің UV-Vis- спектроскопия нәтижелері.

Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR). Күміс иондарын тотықсыздандыруға және нанобөлшектер бетін тұрақтандыруға қатысуы мүмкін функционалдық топтарды анықтау мақсатында *G. officinalis* өсімдігінің бастапқы *n*-бутанолдық фракциясы мен синтезделген күміс нанобөлшектерінің FTIR спектрлеріне салыстырмалы талдау жүргізілді (3-сурет).



Сурет 3. *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясының (жасыл) және синтезделген күміс нанобөлшектерінің (қызыл) FTIR-спектрлері.

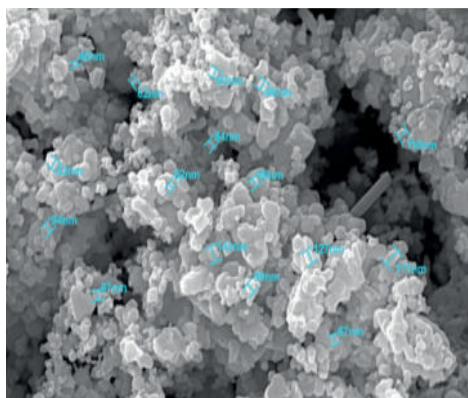
Спектрлерді салыстырмалы талдау AgNPs түзілгеннен кейін бірқатар жолақтардың қарқындылығы мен сипатының елеулі өзгергенін көрсетті. Бастапқы *n*-бутанол фракциясының спектрінде (3-сурет, жасыл түспен көрсетілген) 3200–3500 cm^{-1} аймағында негізінен О–Н байланыстарының валенттік тербелістеріне тән кең жолақ айқын байқалады. Бұл жолақ фенолдық қосылыстардың, флавоноидтардың, фенол қышқылдарының және өсімдік фракциясының басқа да оттекті құрамды компоненттерінің гидроксил топтарына байланысты болуы мүмкін.

Бөлініп алынған және жуылған AgNPs спектрінде (3-сурет, қызыл түспен көрсетілген) бұл жолақтың қарқындылығы күрт төмендеп, жеке интенсивті жолақ ретінде іс жүзінде байқалмайды. Нанобөлшектерді сүзу және жуу процестерін ескере отырып, мұндай өзгеріс жекелеген гидроксил топтарының Ag^+ иондарын тотықсыздандыру үдерісіне қатысуымен немесе AgNPs бетімен әрекеттесуімен ғана емес, сонымен қатар жуу барысында құрамында О–Н топтары бар бос және әлсіз байланысқан органикалық компоненттердің жойылуымен де байланысты болуы ықтимал. Осылайша, О–Н жолағы қарқындылығының айқын төмендеуін, ең алдымен, күміс иондарын тотықсыздандыру үдерісінде гидроксил топтарының толық жұмсалғанының дәлелі ретінде емес, нанобөлшектермен байланысқан органикалық компоненттердің құрамы мен химиялық ортасының өзгеруінің көрсеткіші ретінде қарастырған жөн.

Сонымен қатар, бастапқы *n*-бутанол фракциясының спектрінде 2850–2950, 1600–1700 және 1000–1300 cm^{-1} аймақтарында айқын жолақтар байқалды; олар сәйкесінше негізінен С–Н, С=О/С=C және С–О/С–О–С тербелістеріне сәйкес келеді. Күміс нанобөлшектері түзілгеннен кейін осы жолақтардың қарқындылығы мен сипатының елеулі өзгерістер байқалды. Спектрдің басқа аймақтарда да осындай өзгерістердің тіркелуі нанобөлшектер түзілгеннен кейін органикалық компоненттердің химиялық ортасы мен құрамының өзгергенін одан әрі айғақтайды. Байқалған өзгерістердің жиынтығы AgNPs түзілу процесіне *G.*

officinalis өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясы құрамындағы компоненттердің қатысатынын көрсетеді. ИҚ-спектрлердегі өзгерістерге сүйене отырып, осы фракция құрамындағы фенолдық, флавоноидтық және басқа да оттектұрамы қосылыстард Ag^+ иондарын Ag^0 күйіне дейін тотықсыздандыруға қатысуы мүмкін деп болжауға болады; сонымен қатар тазартудан кейін сақталған кейбір органикалық компоненттер нанобөлшектердің бетімен байланысып, олардың тұрақтануына ықпал етуі ықтимал. Дегенмен, ИҚ-спектроскопия өсімдік компоненттерінің қатысуына жанама дәлелдер бергенімен, нақты қосылыстарды немесе олардың AgNPs-пен өзара әрекеттесу механизмін дәл анықтауға мүмкіндік бермейді.

Синтезделген AgNPs-нің морфологиясы *сканерлеуші электрондық микроскопия* арқылы зерттелді. СЭМ талдауы негізінен дөңгелек, сопақ және шар тәрізді пішінді бөлшектердің түзілгенін көрсетті (4-сурет).



Сурет 4. *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясы арқылы синтезделген AgNPs-нің СЭМ-микрофотосуреті (ұлғайту $\times 25\,000$; масштабтық сызық – 500 нм; үдеткіш кернеу – 15 кВ).



Сурет 5. СЭМ деректері негізіндегі AgNPs өлшемдерінің таралу гистограммасы.

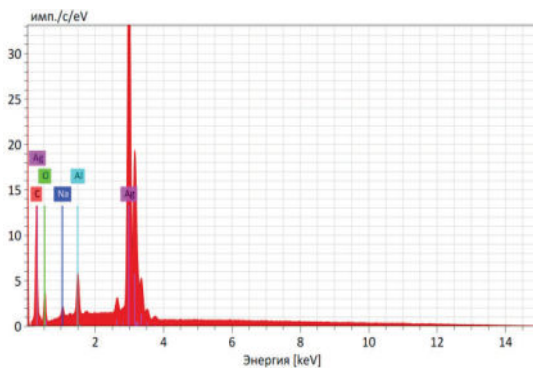
Үлгінің негізгі ерекшелігі – нанобөлшектердің агрегацияға айқын бейімділігі және тығыз шоғырлар түзуі. Бұл ретте агрегаттардың құрамында жекелеген бөлшектердің айқын шекаралары сақталған. Морфометриялық талдау нәтижесінде өлшенген бөлшектердің басым бөлігін 80–100 нм мөлшеріндегі бөлшектер құрайтыны анықталды (56 %). 60–80 нм мөлшеріндегі бөлшектер 13 % құрады, ал 40–60 нм және 100–180 нм аралықтарындағы бөлшектердің әрқайсысына өлшенген бөлшектердің шамамен 6 % тиесілі болды (5-сурет).

Бөлшектер өлшемдерінің байқалған әркелкілігі биогендік синтезге тән құбылыс болып табылады және өсімдік экстрактысының күрделі құрамымен байланысты болуы мүмкін. Экстракт құрамындағы компоненттердің тотықсыздандырғыш және тұрақтандырғыш белсенділігі әртүрлі болғандықтан, бұл нанобөлшектердің ядро түзілу және кейінгі өсу процестеріне әсер етеді. Агрегаттардың болуы күміс

нанобөлшектерінің жоғары беттік энергиясымен және бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесулермен байланысты болуы мүмкін. Мұндай өзара әрекеттесулер үлгіні СЭМ-талдауға дайындау және кептіру барысында да пайда болуы ықтимал. Сонымен қатар агломераттар құрамындағы жеке бөлшектердің шекараларының айқын ажыратылуы олардың бетінде *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясының органикалық компоненттері бар екенін көрсетуі мүмкін. Бұл компоненттер түзілген AgNPs-тердің тұрақтануына ықпал етуі ықтимал.

Орташа өлшемі 100 нм-ден кем нанобөлшектердің биомедициналық мақсатта қолданылуы қызығушылық тудыратынын атап өткен жөн. Осы өлшем ауқымындағы нанобөлшектер микробтық жасушалардың жарғақшаларымен тиімді әрекеттесу үшін жеткілікті жоғары меншікті беттік ауданға ие және күміс иондарын біртіндеп бөліп шығару арқылы ұзақ уақытқа созылатын микробқа қарсы әсерді қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар, нанобөлшектер бетінде өсімдік тектес фитохимиялық заттардың болуы күміс пен өсімдіктің биологиялық белсенді компоненттері арасындағы синергетикалық әсер арқылы олардың қабынуға және бактерияға қарсы қасиеттерін күшейте алады (Jain et al., 2026).

Энергодисперсиялық рентгендік спектроскопиялық талдау (EDS). EDS-сараптама нанобөлшектер құрамында күмістің болуын растау және негізгі химиялық элементтердің салыстырмалы мөлшерін бағалау үшін кеңінен қолданылады. Зерттеу көміртекті төсенішті пайдалану арқылы жүргізілді, сондықтан спектрді интерпретациялау кезінде бұл факторды ескеру қажет. Зерттелетін үлгінің EDS-спектрінде шамамен 3,0 keV аймағында Ag сызықтарына сәйкес келетін күмістің қарқынды сипаттамалық сигналы байқалды. Күмістен басқа, C, O, Na және Al элементтеріне тән сигналдар да тіркелді (6-сурет).



Элемент	Атом номері	Массалық үлесі, wt. %	Атомдық үлесі, at. %
C	6	8,91	33,60
O	8	9,54	27,03
Na	11	1,03	2,02
Al	13	2,79	4,68
Ag	47	77,74	32,66
Итого		100,00	100,00

Сурет 6. Синтезделген күміс нанобөлшектерінің EDS-спектрі және сандық элементтік құрамы.

Сандық талдау зерттелетін үлгіде күмістің басым екенін көрсетті: оның мөлшері 77,74 мас.% (нормаланбаған мән бойынша есептегенде 82,67 мас.%) құрады. Басқа анықталған элементтердің мөлшері: көміртек — 8,91 мас.%, оттек — 9,54 мас.%, алюминий — 2,79 мас.% және натрий — 1,03 мас.%. Көміртек сигналының пайда болуын өсімдік фракциясының органикалық

компоненттерімен ғана байланыстыруға болмайды, себебі оны тіркеуге талдау барысында қолданылған көміртекті төсеніш те елеулі үлес қосуы мүмкін. Оттектің болуы нанобөлшектердің бөлініп алынуынан кейін олардың бетінде сақталған құрамында оттектен бар органикалық қосылыстарға байланысты болуы ықтимал. Натрийдің аз мөлшерде болуы реакциялық ортаның рН мәнін реттеу кезінде натрий гидроксидінің қолданылуымен байланысты болуы ықтимал. Алюминийдің болуы, ең алдымен, үлгі ұстағыштың немесе СЭМ/EDS-талдауы барысында пайдаланылған төсеніш материалының құрамына байланысты болуы мүмкін және нанобөлшектердің өз құрамдас бөлігі болып табылмайды. Мұндай сигналдардың пайда болуы наноматериалдарға жүргізілетін элементтік талдау кезінде жиі кездеседі. Осылайша, EDS-талдау зерттелген материал құрамында Ag элементінің басым мөлшерде екенін және күміске тән айқын сипаттамалық сигналдың болуын растайды, бұл құрамында Ag бар наноматериалдың түзілгенін көрсетеді.

EDS нәтижелері үлгіде Ag элементінің басым екенін көрсетеді, бірақ бұл әдіс күмістің тотығу дәрежесін және материалдың кристалдық фазасын анықтауға мүмкіндік бермейді. Сондықтан осы жұмыстағы UV-Vis, СЭМ және EDS деректерінің жиынтығы құрамында күміс бар наноөлшемді бөлшектердің түзілгенін көрсетеді, ал металл Ag^0 фазасын түпкілікті растау үшін рентгенфазалық талдау жүргізу қажет. Рентгенфазалық талдаудың болмауы осы зерттеудің шектеуі ретінде ескерілді.

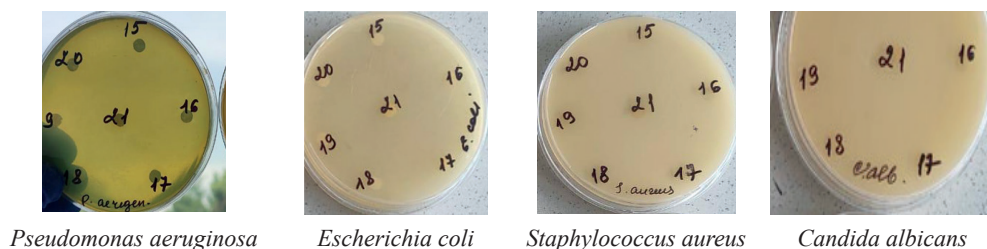
Күміс нанобөлшектерінің биоскрининг нәтижелері. Күміс нанобөлшектерін қолданудың маңызды бағыттарының бірі – қабынуға қарсы әсері бар құралдарды әзірлеу. *In vitro* модель ретінде ақуыздың термиялық денатурациясын тежеу сынамасы кеңінен қолданылады, өйткені ақуыздардың денатурациясы қабыну реакциясының дамуымен қатар жүретін процестердің бірі болып табылады. Зерттелетін қосылыстардың осы процесті тежеу қабілеті олардың әлеуетті қабынуға қарсы белсенділігінің көрсеткіші ретінде қарастырылады. Осы зерттеуде *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын пайдалана отырып синтезделген AgNPs-тердің қабынуға қарсы белсенділігі ақуыздың термиялық денатурациясын тежеу әдісімен бағаланды. Үлгі скринингке BAE-4 шифрымен тапсырылды. Талдау нәтижесінде BAE-4 үлгісі ақуыздың денатурациясын 58,50 % деңгейінде тежегені анықталды, бұл оның айқын қабынуға қарсы белсенділігінің бар екенін көрсетеді. Алынған нәтиже қабынуға қарсы әсердің металл күмістің және нанобөлшектердің бетінде орналасқан *G. officinalis* фитохимиялық қосылыстарының бірлескен әсерімен байланысты болуы мүмкін екенін болжауға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы зерттеулер биогенді жолмен синтезделген күміс нанобөлшектерінің оттектің реактивті түрлерінің түзілуін азайтуға, қабынуға қарсы цитокиндердің экспрессиясын төмендетуге және қабыну реакциясының дамуында маңызды рөл атқаратын NF- κ B және MAPK сигналдық жолдарын тежеуге қабілетті екенін көрсетеді (Nair et al., 2026).

Мембрананы тұрақтандырушы белсенділік. Мембрананы тұрақтандырушы белсенділік зерттелетін үлгілердің *in vitro* жағдайындағы қабынуға қарсы

әсерін бағалауда маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады. Эритроциттер мембранасының лизосомалар мембранасымен құрылымдық және функционалдық ұқсастығына байланысты гемолиздің төмендеуі жасуша мембраналарының тұрақтануын көрсетеді. Бұл өз кезегінде қабыну үдерісіне қатысатын лизосомалық ферменттер мен протеазалардың бөлінуін шектеуге ықпал етуі мүмкін (Fazil et al., 2024). Осы зерттеуде AgNPs-тердің мембрананы тұрақтандырушы белсенділігі эритроциттердің гипотониялық орта әсерінен индукцияланған гемолизін тежеу әдісімен анықталды. ВАЕ-4 үлгісі 1 % концентрацияда 54,68 %, ал 10 % концентрацияда 59,03 % мембрананы тұрақтандырушы белсенділік көрсетті. Алынған нәтижелер синтезделген AgNPs-тердің гипотониялық стресс жағдайында жасуша мембраналарының зақымдануын төмендетуге қабілетті екенін көрсетеді. Үлгі концентрациясының жоғарылауымен тұрақтандыру көрсеткішінің артуы әсердің концентрацияға тәуелді сипатта екенін көрсетеді. Айта кету керек, байқалған мембрананы тұрақтандырушы белсенділік *Galega officinalis* өсімдігінің фитохимиялық компоненттерінің антиоксиданттық қасиеттері мен AgNPs-тердің биологиялық әсерлерінің үйлесуімен байланысты болуы мүмкін. Мұндай үйлесім жасуша мембраналарының зақымдануын азайтуға ықпал етіп, қабынуға қарсы белсенділікті зерттеу нәтижелерін толықтырады.

Микробқа қарсы белсенділікті зерттеу нәтижелері. Микробқа қарсы белсенділік күміс нанобөлшектерінің медицина мен фармацевтикада қолдану перспективаларын айқындайтын ең маңызды қасиеттерінің бірі болып табылады. Олардың әсері микроорганизмдердің жасушалық қабықшасымен өзара әрекеттесуімен, мембраналардың өткізгіштігінің өзгеруімен, оттектің реактивті түрлерінің түзілуімен, күміс иондарының бөлінуімен және бірқатар жасушаішілік процестердің бұзылуымен байланыстырылады. AgNPs-тердің микробқа қарсы әсерінің айқындылығы олардың мөлшеріне, пішініне, беттік қасиеттеріне және органикалық қабатының құрамына тәуелді.

Синтезделген күміс нанобөлшектерінің микробқа қарсы белсенділігі агарға диффузия әдісімен *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* және *Candida albicans* микроорганизмдеріне қатысты бағаланды. Биоскрининг нәтижелері 7-суретте келтірілген.



Сурет 7. *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын пайдалана отырып синтезделген күміс нанобөлшектерінің биоскрининг нәтижелері.

Зерттелген ВАН-4 үлгісі (7-сурет, № 16 үлгі) *E. coli* және *S. aureus* микроорганизмдеріне қатысты бактерияға қарсы белсенділік көрсетті. Өсу тежелу аймағының орташа диаметрі *E. coli* үшін $14,17 \pm 1,07$ мм, ал *S. aureus* үшін $11,0 \pm 0,0$ мм құрады. *P. aeruginosa*-ға қатысты тежегіш әсер байқалмады. *C. albicans* үшін $7,83 \pm 0,76$ мм тежелу аймағы тіркелді, бұл жүргізілген тәжірибе жағдайында әлсіз зенге қарсы белсенділіктің бар екенін көрсетеді.

Қорытынды. Осы зерттеуде табиғи тотықсыздандырғыш және тұрақтандырғыш агент ретінде *Galega officinalis* L. өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын пайдалана отырып, күміс нанобөлшектерінің жасыл синтезі жүзеге асырылды. Ұсынылған тәсіл улы химиялық тотықсыздандырғыштарды қолданбай күміс нанобөлшектерін алуға мүмкіндік берді, бұл жасыл химияның және наноматериалдарды экологиялық қауіпсіз жолмен алудың заманауи қағидаттарына сәйкес келеді. Күміс нанобөлшектерінің түзілуі кешенді физика-химиялық әдістермен расталды. УК-спектроскопиясының деректері бойынша 460 нм аймағында беттік плазмондық резонансқа тән жолақ тіркелді. СЭМ-талдау алынған бөлшектердің негізінен сфералық пішінді екенін көрсетті, олардың өлшемдері 46–187 нм аралығында болды. EDS-талдау зерттелген үлгінің негізгі компоненті күміс екенін (77,74 мас.%) және Ag-ге тән сипаттамалық сигналдың бар екенін растады.

Синтезделген AgNPs жүргізілген *in vitro* сынақтарында биологиялық белсенділік көрсетті. Ақуыздың денатурациясын тежеу сынағында тежелу деңгейі 58,50 % құрады, ал мембрананы тұрақтандырушы белсенділік зерттелген концентрацияларда тиісінше 54,68 % және 59,03 % деңгейіне жетті. *E. coli* және *S. aureus* микроорганизмдеріне қатысты бактерияға қарсы әсері анықталды: өсу тежелу аймақтарының диаметрлері тиісінше $14,17 \pm 1,07$ мм және $11,0 \pm 0,0$ мм құрады. Осылайша, алынған нәтижелер *G. officinalis* өсімдігінің *n*-бутанолдық фракциясын AgNPs-терді жасыл синтездеу үшін пайдалану мүмкіндігін растайды және алынған нанобөлшектердің әрі қарай зерттеу нысаны ретінде перспективалы екенін көрсетеді. Анықталған физика-химиялық сипаттамалардың, қабынуға қарсы және бактерияға қарсы белсенділіктің үйлесуі олардың биологиялық әсерін, әсер ету механизмдерін, қауіпсіздігін және фармацевтикалық әрі биомедициналық әзірлемелерде әлеуетті қолданылуын одан әрі зерттеудің орындылығын негіздейді.

Зерттеудің негізгі шектеулері – рентгенфазалық талдаудың және бастапқы *n*-бутанолдық фракция, AgNO₃ ерітіндісі мен стандартты препараттар үшін параллель бақылау нәтижелерінің болмауы. Сондықтан байқалған биологиялық әсерге күміс пен фитохимиялық компоненттердің жеке үлесін ажырату мүмкін емес; бұл мәселе кейінгі салыстырмалы зерттеулерде анықталуы тиіс.

References

- Abada E., Mashraqi A., Modafar Y., Al Abboud M. A., & El-Shabasy A. (2024). Review green synthesis of silver nanoparticles by using plant extracts and their antimicrobial activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2024. – Vol. 31. – №. 1. – P. 103877. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103877> (in Eng.).
- Ameena M., Arumugham M., Ramalingam K., Rajeshkumar S., & Shanmugam R. (2023). Evaluation of the anti-inflammatory, antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic effects of chitosan thiocolchicoside-lauric acid nanogel. *Cureus*. – Vol 15(9). – P. e46003. <https://doi.org/10.7759/cureus.46003> (in Eng.).

Badeggi U. M., Ismail, E., Adeloye A. O., Botha S., Badmus J. A., Marnewick J. L., ... & Hussein A. A. (2020). Green synthesis of gold nanoparticles capped with procyanidins from *Leucosidea sericea* as potential antidiabetic and antioxidant agents. *Biomolecules*. – 2020. – Vol. 10. – №. 3. – P. 452. <https://doi.org/10.3390/biom10030452> (in Eng.).

Dyusebaeva M. A., Berillo D. A., Berganayeva A. E., Berganayeva G. E., Ibragimova N. A., Jumabayeva S. M., ... & Vassilina G.K. (2023). Antimicrobial activity of silver nanoparticles stabilized by liposoluble extract of *Artemisia terrae-albae*. *Processes*. – 2023. – Vol. 11. – №. 10. – P. 3041. <https://doi.org/10.3390/pr11103041> (in Eng.).

Eker F., Akdaşçı E., Duman H., Bechelany M., & Karav S. (2025). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts: A comprehensive review of physicochemical properties and multifunctional applications. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2025. – Vol. 26. – №. 13. – P. 6222. <https://doi.org/10.3390/ijms26136222> (in Eng.).

Fahim M., Shahzaib A., Nishat N., Jahan A., Bhat T. A., & Inam A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS open*. – 2024. – Vol. 16. – P. 100125. <https://doi.org/10.1016/j.jciso.2024.100125>.

Fazil M. M., Gul A., & Jawed H. (2024). Optimization of silver nanoparticles synthesis via Plackett–Burman experimental design: in vitro assessment of their efficacy against oxidative stress-induced disorders. *RSC advances*. – 2024. – Vol. 14. – №. 29. – P. 20809-20823. <https://doi.org/10.1039/d4ra02774d> (in Eng.).

Jain R., Vidhani B., Tyagi S., & Jain R. (2026). Silver nanoparticles for antibacterial applications: Current insights and emerging trends. *AIP Advances*. – 2026. – Vol. 16. – №. 3. – P. 030702. <https://doi.org/10.1063/5.0305030> (in Eng.).

Khan M.R., Urmi M.A., Kamaraj C., Malafaia G., Ragavendran C., & Rahman M.M. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles with its bioactivity, toxicity and environmental applications: A comprehensive literature review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. – 2023. – Vol. 20. – P. 100872. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100872> (in Eng.).

Lithi I.J., Ahmed Nakib K.I., Chowdhury A.S., & Sahadat Hossain M. (2025). A review on the green synthesis of metal (Ag, Cu, and Au) and metal oxide (ZnO, MgO, Co₃O₄, and TiO₂) nanoparticles using plant extracts for developing antimicrobial properties. *Nanoscale Advances*. – 2025. – Vol. 7. – №. 9. – P. 2446-2473. <https://doi.org/10.1039/d5na00037h> (in Eng.).

Madhuranga H. D. T., Samarakoon D.N.A.W. (2023). In vitro anti-inflammatory egg albumin denaturation assay: an enhanced approach. *Journal of Natural & Ayurvedic Medicine*. – Vol.7. – № 3 – P. 1-6. <https://doi.org/10.23880/jonam-16000411> (in Eng.).

Martínez-Cisterna D., Rubilar O., Chen, L., Lizama M., Chacón-Fuentes M., Quiroz A., & Bardehle L. (2025). Biosynthesized chitosan-coated silver nanoparticles: insecticide activity and sublethal effects against *drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Biomolecules*. – 2025. – Vol. 15. – №. 4. – P. 490. <https://doi.org/10.3390/biom15040490> (in Eng.).

Nair S., Ansari A., Khan S., Pratap A., & Mali S.N. (2026). Anti-inflammatory activity of silver nanoparticles (AgNPs): an updated systematic review from in vivo, and in vitro studies. *Inflammopharmacology*. – 2026. – Vol. 34. – №. 4. – P. 2135-2174. <https://doi.org/10.1007/s10787-026-02167-9> (in Eng.).

Varjovi M. B., Zakaria R. A., Rostamnia S., & Gholipour B. (2023). Biosynthesized Ag nanoparticles on urea-based periodic mesoporous organosilica enhance galegine content in Galega. *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2023. – Vol. 107. – №. 5. – P. 1589-1608. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12414-6> (in Eng.).

Wayne, P. C. A. L. S. I. (2023). CLSI performance standards for antimicrobial susceptibility testing. *33rd ed. CLSI supplement M100*. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute. – 402 p. (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.nauka-nanrk.kz

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

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

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

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

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