

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2  
2026**

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

2026 • 2



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

**Editor-in-Chief:**

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

**Editorial Board:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**TAKIBAIEV 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 Жұрынулы**, 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%3E>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакция ұжымы:**

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділулы**, 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 Мынжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы " АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

**РАМАЗАНОВ 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 Сезаре**, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

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

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

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы 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), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, Әл-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 Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

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

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

**ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнұтталайұлы**, 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 МААН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакционная коллегия:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

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

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

**АБИЛЬМАТЖАНОВ 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>

CONTENTS

PHYSICS

**Koshtybayev T.B., Aliev Sh., Aliyeva M.E., Zhavliyeva A.T.**  
Covariant approach to the kinetic theory of plasma in a strong electromagnetic field.....13

**Kemelbekova A., Shongalova A., Bondar E., Otunchi Ye.**  
Recycling technologies for spent lithium-ion batteries: environmental impact, recovered products, and future development trends.....25

**Koilyk N., Baimbetova G., Dalelkhankyzy A., Kaptagay G., Primkulova Zh.**  
Simplification of the fermionic dynamical symmetry model for identical particles and its mapping into bosonic space.....38

**Massak B., Agyl-Mussapar O., Amangeldinova S., Kurmangaliyeva V., Snow M.**  
Constraints on Yukawa-Type short-range interactions from neutron interferometry data.....60

**Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A.**  
Tin-based perovskites.....70

**Nurtazina A.S., Zhubaev A.K.**  
Study of the effect of highly dispersed ochre on the kinetic characteristics of epoxy composites.....92

**Shokanov A.K., Khamrayev Sh.I., Smikhan Y.A.**  
Mössbauer studies of fly ash-based tracers.....103

**Ualikhanova U.A., Kurban Y.Y., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B.**  
Breaking the degeneracy between metric and teleparallel gravity theories through multi-messenger gravitational-wave astronomy.....119

**Zhadyranova A.A., Yerzhan B.**  
Dynamics of bounce regimes in modified teleparallel gravity.....134

**Zhusupova N.K.**  
Application of machine learning methods in the analysis of gravitational waves and cosmological models.....151

**CHEMISTRY**

**Aubakirov Ye., Akhmetova F., Tashmukhambetova Zh., Toshtay K., Amantaiuly K.**  
Conversion of Polymer Waste into Synthetic Fuel via Modification of Taizhuzhen Zeolite with Tungsten Salts.....164

**Auyeshov A.P., Eskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dikanbayeva A.K.**  
Physicochemical study of serpentinite waste and phosphoric acid products.....175

**Bayeshova A.K., Bayeshov A., Tuleshova E.Zh.**  
Reduction of copper ions by zinc in the presence of titanium(iv) ions in sulfuric acid solutions.....188

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

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

<b>Қоштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева Е.М., Жавлиева А.Т.</b> Күшті электромагниттік өрістегі плазманың кинетикалық теориясына коварианттық көзқарас.....	13
<b>Кемелбекова А., Шонғалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.</b> Пайдаланылған литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеу технологиялары: экологиялық әсері, алынатын өнімдер және болашақ даму бағыттары.....	25
<b>Қойлық Н.О., Байымбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.А., Примкулова Ж.Е.</b> Бірдей бөлшектер үшін фермионды динамикалы-симметриялық модельді ықшамдау және оны бозондық кеңістікке бейнелеу.....	38
<b>Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М.</b> Нейтрондық интерферометрия негізінде юкава типті қысқа-қашықтықтағы өзара әсерлесулерге шектеулер қою.....	60
<b>Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А.</b> Қалайы негізіндегі перовскиттер.....	70
<b>Нуртазина А.С., Жубаев А.К.</b> Дисперстілігі жоғары охранның эпоксидті композиттердің кинетикалық сипаттамаларына ықпалын зерттеу.....	92
<b>Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.</b> Үшқыш күл негізіндегі трассерлердің мессбауэрлік зерттеулері.....	103
<b>Уалиханова У.А., Құрбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.</b> Көп арналы гравитациялық-толқындық астрономия арқылы метрикалық және телепараллельді гравитация теорияларының айырмашылығын зерттеу.....	119
<b>Жадыранова А.А., Ержан Б.</b> Модификацияланған телепараллель гравитациядағы серпіліс режимдерінің динамикасы.....	134
<b>Жусупова Н.К.</b> Машиналық оқыту әдістерін гравитациялық толқындар мен космологиялық модельдерді талдауда қолдану.....	151
<b>ХИМИЯ</b>	
<b>Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмұхамбетова Ж., Тоштай Қ., Амантайұлы Қ.</b> Тайжүзген цеолитін вольфрам тұздарымен модификациялау арқылы полимер қалдықтарын синтетикалық отынға түрлендіру.....	164
<b>Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Диканбаева А.К.</b> Серпентинит қалдықтарының фосфор қышқылымен әрекеттесу өнімдерінің физика-химиялық зерттелуі.....	175

<b>Башова А.К., Башов А.Б., Тулешова Э.Ж.</b> Мыс иондарын күкіртқышқылды ерітінділерде титан (IV) иондары қатысында мырышпен тотықсыздандыру.....	188
<b>Фазылов С.Д., Сыздықов А.К., Пустолайкина И.А., Қажмұратова А.Т., Тәжібай А.М.</b> Цитизиннің $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -олигосахаридтермен клатраттыкешендерін алу.....	200
<b>Джалмаханбетова Р.И., Елшібаева А.М., Жумагалиева Ж.Ж., Мукушева Г.К.</b> Қазақстанның Түркістан өңірінде өсетін <i>Artemisia terrae-albae</i> терпеноидты косылыстары.....	213
<b>Капизов О.С., Муханов Д.К., Желдыбаева И.М., Сейсенов Е.Б., Акимбаева А.Б.</b> Металлургиялық зауыттардың ферросилиций жоңқаларын жоғары өнімді кремний-көміртекті анодтарға тұрақты қайта өңдеу.....	228
<b>Масалимова Б.К.</b> Ауыр металдардан ағын суларды жою әдістері: биомассадан белсендендірілген көміртек алу.....	244
<b>Нуртай Ж., Орынбасар Р.О., Аймағанбетова З.К., Жантурина Н.Н.</b> Диатомит пен диметил метилфосфонат толтырғыштары бар винилэфир шайыр үлгілерінің кинетикалық параметрлерінің модельдеу.....	272
<b>Сағынтаева А., Жаниқұлов Н., Сударев Е., Қайырбаева М., Жакипбаев Б.</b> Гипс-цемент-пуццоланды композициялық материал алу үшін қажетті шикізаттардың сапасын зерттеу.....	286
<b>Сатаева С., Ермуханова С., Уразова А., Мендығалиева А., Сабитов Б.</b> Толуолдың фотокаталитикалық тотығыуы арқылы бензол алу.....	302
<b>Сдиқова Г.Ж., Далабаева Н.С., Сарова Н.Б., Мұхтар Т.Ж., Жалтырбаева Н.К.</b> Фосфор ингибиторлардың болаттың жемірілуіне қарсы тиімділігі.....	315
<b>Шаймардан М., Ажиханова Ж., Әбутәліп М., Тоқтарбайұлы О.</b> <i>Phlomis Tuberosa</i> L. өсімдігі биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және сипаттау.....	329
<b>Есимсиитова З.Б., Сейсенова А., Орынғалиева С.Ж., Сануар А., Манап К.Р.</b> Энергиялық қолдану үшін жылжымалы пиролиз қондырғысын пайдалану арқылы күріш қауызынан көміртекті материалдар алу.....	338
<b>Жетенова М.С., Сүлейменова М.Ш., Нұралы Ә.М., Мутушев А.Ж., Калимолдина Л.М.</b> Өсімдік шикізатынан алынған құрамында каротиноид бар сығындыларды әзірлеу және зерттеу.....	353

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

<b>Коштыбаев Т.Б., Алиев Ш., Алиева М.Е., Жавлиева А.Т.</b> Ковариантный подход к кинетической теории плазмы в сильном электромагнитном поле.....	13
<b>Кемелбекова А., Шонгалова А., Бондарь Е., Отунчи Е.</b> Технологии переработки отработанных литий-ионных аккумуляторов: экологическое воздействие, получаемые продукты и будущие направления развития.....	25
<b>Қойлық Н.О., Баймбетова Г.А., Дәлелханқызы А., Қаптағай Г.Ә., Примкулова Ж.Е.</b> Упрощение фермионной динамико-симметрической модели для идентичных частиц и её отображение в бозонное пространство.....	38
<b>Масақ Б., Ағыл-Мұсапар О., Амангелдинова С., Курмангалиева В., Сноу М.</b> Ограничения на юкавовские короткодействующие взаимодействия на основе нейтронной интерферометрии.....	60
<b>Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А.</b> Перовскиты на основе олова.....	70
<b>Нуртазина А.С., Жубаев А.К.</b> Исследование влияния высокодисперсной охры на кинетические характеристики эпоксидных композитов.....	92
<b>Шоканов А.К., Хамраев Ш.И., Смихан Е.А.</b> Мёсбауэровские исследования трассеров на основе летучей золы.....	103
<b>Уалиханова У.А., Курбан Е.Е., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.</b> Разрешение вырождения метрических и телепараллельных теорий гравитации посредством многоканальной гравитационно-волновой астрономии.....	119
<b>Жадыранова А.А., Ержан Б.</b> Динамика отскоковых режимов в модифицированной телепараллельной гравитации.....	134
<b>Жусупова Н.К.</b> Применение методов машинного обучения при анализе гравитационных волн и космологических моделей.....	151

## ХИМИЯ

<b>Аубакиров Е., Ахметова Ф., Ташмухамбетова Ж., Тоштай К., Амантайулы К.</b> Конверсия полимерных отходов в синтетическое топливо путем модификации цеолита тайжугзен солями вольфрама.....	164
--	-----

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES  
ISSN 2224-5227  
Volume 2.  
Number 358 (2026), 329–337

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.455>

UDC: 547.97:631.5:577.1  
IRSTI: 31.23.15

©Shaimardan M.<sup>1,2\*</sup>, Azhikhanova Z.<sup>1,2</sup>, Abutalip M.<sup>1,2</sup>,  
Toktarbaiuly O.<sup>1,2</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Teqnovate LLC, Astana, Kazakhstan.

\*E-mail: minavar.shaimardan@nu.edu.kz

## ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF LIGNIN FROM PHLOMIS TUBEROSA L. BIOMASS VIA ACID TREATMENT

**Shaimardan Minavar** — PhD, Senior Researcher, Nazarbayev University; «Teqnovate» LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: minavar.shaimardan@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7571-820X>;

**Azhikhanova Zhanat** — PhD, Junior Researcher, Nazarbayev University; «Teqnovate» LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: zhanat.azhikhanova@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9556-270X>;

**Abutalip Munziya** — PhD, Associate Professor, Researcher, Nazarbayev University; «Teqnovate» LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: munziya.abutalip@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

**Toktarbaiuly Olzat** — PhD, Leading researcher, Nazarbayev University; «Teqnovate» LLC, Astana, Kazakhstan,

E-mail: olzat.toktarbaiuly@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4594-3435>.

**Abstract.** Converting lignocellulosic biomass into valuable products is a sustainable way of developing renewable biomaterials. Lignin, a naturally abundant aromatic polymer and one of the main components of plant biomass, is an important raw material for producing bio-based materials. However, the potential of many plant species as sources of lignin remains largely unexplored. This study successfully isolated lignin from the stems of *Phlomis tuberosa* L. for the first time using an acid treatment method. The plant stems were treated with concentrated formic acid at 80 °C for three hours. After acid hydrolysis, the lignin was separated from the liquid fraction by rotary evaporation and precipitation. The lignin biopolymer obtained from the stems of *Phlomis tuberosa* L. was characterized using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). FTIR spectra confirmed the presence of the characteristic lignin functional groups, such as hydroxyl (O-H), carbonyl (C=O) and aliphatic (C-H). Microscopic analysis revealed uniform particle morphology and low aggregation. These findings suggest favorable physicochemical properties and potential applications in nanoscale materials.

The results demonstrate that *Phlomis tuberosa* L. biomass is a promising, previously unexplored source of lignin. Due to its structural characteristics, the isolated lignin could be used as a sustainable raw material in the production of advanced, bio-based functional materials, such as nano-hydrogels, biodegradable composites and drug delivery systems.

**Keywords:** *Phlomis tuberosa* L., lignocellulose, lignin, acid treatment

**For citations:** Shaimardan M., Azhikhanova Z., Abutalip M., Toktarbaiuly O. Isolation and Characterization of Lignin from *Phlomis tuberosa* L. Biomass via Acid Treatment. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences*. 2026. No.2. Pp. 328–337. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.455>

©Шаймардан М.<sup>1,2\*</sup>, Ажиханова Ж.<sup>1,2</sup>, Әбутәліп М.<sup>1,2</sup>,  
Тоқтарбайұлы О.<sup>1,2</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Назарбаев университеті, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>Technovate ЖШС, Астана, Қазақстан.

\*E-mail: [minavar.shaimardan@nu.edu.kz](mailto:minavar.shaimardan@nu.edu.kz)

## **PHLOMIS TUBEROSA L. ӨСІМДІГІ БИОМАССАСЫНАН ЛИГНИНДІ ҚЫШҚЫЛДЫҚ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ БӨЛІП АЛУ ЖӘНЕ СИПАТТАУ**

**Шаймардан Минавар** — PhD, аға ғылыми қызметкер, Назарбаев университеті; «Technovate» ЖШС, Астана, Қазақстан,

E-mail: [minavar.shaimardan@nu.edu.kz](mailto:minavar.shaimardan@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-7571-820X>;

**Ажиханова Жанат** — PhD, кіші ғылыми қызметкер, Назарбаев университеті; «Technovate» ЖШС, Астана, Қазақстан,

E-mail: [zhanat.azhikhanova@nu.edu.kz](mailto:zhanat.azhikhanova@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0003-9556-270X>;

**Әбутәліп Мунзия** — PhD, қауымдастырылған профессор, ғылыми қызметкер, Назарбаев университеті; «Technovate» ЖШС, Астана, Қазақстан,

E-mail: [munziya.abutalip@nu.edu.kz](mailto:munziya.abutalip@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

**Тоқтарбайұлы Олзат** — PhD, жетекші ғылыми қызметкер, Назарбаев университеті; «Technovate» ЖШС, Астана, Қазақстан,

E-mail: [olzat.toktarbaiuly@nu.edu.kz](mailto:olzat.toktarbaiuly@nu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-4594-3435>.

**Аннотация.** Лигноцеллюлозалы биомассаны құнды өнімдерге айналдыру – жаңартылатын биоматериалдарды дамытудың экологиялық тұрғыдан тұрақты және тиімді тәсілі болып табылады. Лигнин - табиғатта кең таралған ароматты полимер және өсімдік биомассасының негізгі компоненттерінің бірі, сондықтан ол био-негізді материалдар өндіру үшін маңызды шикізат көзі ретінде қарастырылады. Алайда көптеген өсімдік түрлерінің лигнин көзі ретіндегі әлеуеті әлі күнге дейін толық зерттелмеген. Осы зерттеуде алғаш рет *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің сабақтарынан қышқылдық өндеу әдісі арқылы лигнин сәтті бөлініп алынды. Өсімдік сабақтары 80 °C температурада үш сағат бойы концентрлі құмырсқа қышқылымен өңделді. Қышқылдық гидролизден кейін лигнин сұйық фракциядан роторлы буландыру және тұндыру әдістері арқылы бөлініп алынды.

*Phlomis tuberosa* L. сабақтарынан алынған лигнин биополимері Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR), сканерлеуші электрондық



микроскопия (SEM) және трансмиссиялық электрондық микроскопия (ТЕМ) әдістерімен жан-жақты сипатталды. FTIR спектрлері гидроксил (О–Н), карбонил (С=О) және алифаттық (С–Н) сияқты лигнинге тән функционалдық топтардың бар екенін растады. Микроскопиялық талдау бөлшектердің біркелкі морфологиясын және агрегация деңгейінің төмен екенін көрсетті. Бұл нәтижелер материалдың қолайлы физика-химиялық қасиеттерге ие екенін және наноөлшемді материалдарда қолдану әлеуетін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері *Phlomis tuberosa* L. биомассасының лигниннің болашағы зор әрі бұрын жеткілікті зерттелмеген көзі екенін көрсетті. Құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты бөлініп алынған лигнин нано-гидрогельдер, биоыдырайтын композиттер, сенсорлық материалдар және дәрілік заттарды жеткізу жүйелері сияқты заманауи био-негізді функционалдық материалдарды өндіруде тұрақты шикізат ретінде қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** *Phlomis tuberosa* L., лигноцеллюлоза, лигнин, қышқылдық өңдеу

©Шаймардан М.<sup>1,2\*</sup>, Ажиханова Ж.<sup>1,2</sup>, Абуталип М.<sup>1,2</sup>, Токтарбай О.<sup>1,2</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Назарбаев университеті, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>ТОО «Тeqnovate», Астана, Қазақстан.

\*E-mail: minavar.shaimardan@nu.edu.kz

## ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ЛИГНИНА ИЗ БИОМАССЫ *PHLOMIS TUBEROSA* L. С ПОМОЩЬЮ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ

**Шаймардан Минавар** — PhD, старший научный сотрудник, Назарбаев университет; ТОО «Тeqnovate», Астана, Қазақстан,

E-mail: minavar.shaimardan@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7571-820X>;

**Ажиханова Жанат** — PhD, младший научный сотрудник, Назарбаев университет; ТОО «Тeqnovate», Астана, Қазақстан,

E-mail: zhanat.azhikhanova@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9556-270X>;

**Мунзия Абуталип** — PhD, доцент, научный сотрудник, Назарбаев университет; ТОО «Тeqnovate», Астана, Қазақстан,

E-mail: munziya.abutalip@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2200-8479>;

**Токтарбай Олзат** — PhD, ведущий научный сотрудник, Назарбаев университет; ТОО «Тeqnovate», Астана, Қазақстан,

E-mail: olzat.toktarbaiuly@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4594-3435>.

**Аннотация.** Рациональное использование лигноцеллюлозной биомассы является одним из перспективных направлений развития технологий получения возобновляемых и экологически безопасных материалов. Лигнин, являющийся одним из основных компонентов растительной биомассы и наиболее распространённым природным ароматическим полимером, рассматривается как ценное сырьё для производства биоматериалов различного назначения. Вместе с тем потенциал многих видов растений в качестве источников лигнина остаётся недостаточно изученным. В настоящем исследовании впервые осуществлено выделение лигнина из стеблей *Phlomis tuberosa* L. методом кислотной обработки. В качестве экстрагента использовали концентрированную муравьиную кислоту, обработку

проводили при температуре 80 °С в течение трёх часов. После завершения гидролиза лигнин выделяли из жидкой фракции методом ротационного испарения с последующим осаждением. Структурные и морфологические характеристики полученного лигнина исследованы с использованием инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), сканирующей электронной микроскопии (SEM) и просвечивающей электронной микроскопии (TEM). Результаты FTIR-анализа подтвердили наличие характерных для лигнина функциональных групп, включая гидроксильные (O–H), карбонильные (C=O) и алифатические (C–H) связи. Микроскопические исследования показали однородную морфологию частиц и низкую степень их агрегации, что свидетельствует о благоприятных физико-химических свойствах выделенного биополимера. Полученные результаты демонстрируют, что биомасса *Phlomis tuberosa* L. представляет собой перспективный и ранее не исследованный источник лигнина. Благодаря своим структурным особенностям выделенный лигнин может быть использован в качестве экологически безопасного сырья для получения современных функциональных материалов, включая наногидрогели, биоразлагаемые композиты и системы адресной доставки лекарственных средств.

**Ключевые слова:** *Phlomis tuberosa* L., лигноцеллюлозная биомасса, лигнин, кислотная обработка, FTIR, биоматериалы, биоразлагаемые композиты.

**Кіріспе.** *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің сабақтары сияқты лигноцеллюлозалық биомассалар жаңартылатын табиғи ресурстар ретінде тұрақтылығы мен экономикалық тиімділігіне байланысты ғылыми зерттеулердің маңызды нысаны болып табылады. Бұл биомассалардың негізгі биополимерлік компоненттері – целлюлоза, гемицеллюлоза және лигнин – функционалдық материалдар, адсорбенттер және композиттік өнімдер өндіру үшін құнды шикізат ретінде қарастырылады (Sheridan et al., 2024; Bouhfid et al., 2025; Kai et al., 2016). Лигнин – монолигнолдардың радикалдық қосылуы нәтижесінде түзілетін үш өлшемді фенилпропаноидты полимер. Оның ароматтық құрылымы мен функционалдық топтары химиялық реакциялық қабілетін арттырып, материалтану саласында ерекше қызығушылық тудырады (Gosselink et al., 2012; Dai et al., 2019).

Лигноцеллюлозалық биомасса көміртектің бай көзі болып табылады және орман және ауыл шаруашылығы қалдықтары сияқты жеткілікті пайдаланылмайтын ресурстарды тиімді қолдану арқылы биоэнергия, биохимиялық өнімдер және биоматериалдар өндіруге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта өндірістік лигнин негізінен ағаш өңдеу өнеркәсібінен алынады, сондықтан баламалы шикізат көздерін зерттеу маңызды. Қазақстанның орталық аймақтарында өсетін көпжылдық шөптесін өсімдік *Phlomis tuberosa* L. осындай перспективалы балама көздердің бірі бола алады. *Phlomis* туысы (Lamiaceae тұқымдасы) Еуропа мен Азияда кең таралған жүзден астам түрді қамтиды (Amor et al., 2019). *Phlomis tuberosa* L. дәстүрлі медицинада кеңінен қолданылады (Vitaliy et al., 2018; Alipieva et al., 2000; Olennikov et al., 2010). Алайда оның сабақтарынан алынатын лигниннің құрылымдық және физика-химиялық қасиеттері әлі толық зерттелмеген.

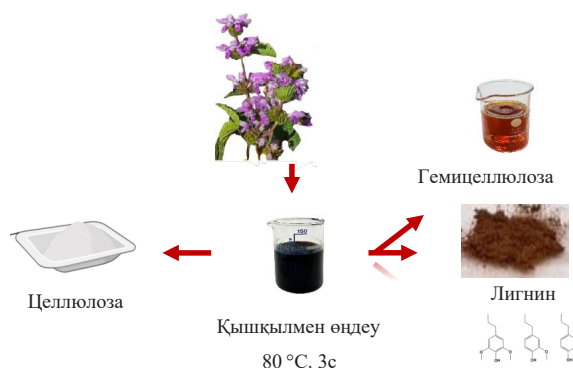
Алдыңғы зерттеулерде *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің гүлдері, жер үсті бөлік-

тері және тамырларынан алынған экстракттар мен эфир майларының антиоксиданттық, антидиабеттік, антихолинэстераздық және басқа да биологиялық белсенділіктері, сондай-ақ олардың химиялық құрамы мен витаминдік құрамы зерттелген (Azhikhanova et al., 2025). Негізгі компоненттер ретінде хлороген қышқылы мен ферул қышқылы анықталған, ал В3, С және Е витаминдері басым екені көрсетілген. Сонымен қатар, *Phlomis tuberosa* L. сабақтарынан алынған целлюлоза негізіндегі композиттік мембраналардың жоғары адсорбциялық қабілеті, тұрақтылығы және қайта қолдану мүмкіндігі зерттелген. Сонымен қатар, *Phlomis tuberosa* L. сабақтарынан алынған целлюлоза негізіндегі композиттік мембраналардың адсорбциялық қасиеттері зерттелген (Azhikhanova et al., 2026). Бұл нәтижелер өсімдіктің лигноцеллюлозалық компоненттерінің функционалдық материалдар өндірудегі әлеуетін көрсетеді, алайда лигнин фракциясы әлі зерттелмеген күйінде қалып отыр.

Осыған байланысты, аталған зерттеуде *Phlomis tuberosa* L. биомассасынан лигнинді қышқылдық өңдеу арқылы бөліп алу және оның құрылымдық сипаттамаларын зерттеу мақсат етілді. Лигнинді бөліп алу процесінде құмырсқа қышқылы қолданылып, алынған материал SEM, TEM және FTIR әдістері арқылы сипатталды. Зерттеудің негізгі мақсаты – биомассадан лигнинді бөліп алудың био-негізді және төмен шығынды технологиялық тәсілін әзірлеу және алынған лигниннің материалдық әлеуетін бағалау.

**Материалдар мен зерттеу әдістері.** Өсімдік материалы – *Phlomis tuberosa* L. өсімдігі маусым айында таулы Ортау аймағынан (жапырақтары, гүлдері, сабақтары және тамырлары) жиналды. Жиналған материалдар жеке бөліктерге (жер үсті бөліктері және тамырлар) бөлініп, тазартылды. Өсімдіктердің түсі мен химиялық құрамын сақтау мақсатында материалдар бөлме температурасында көлеңкелі жерде, тікелей күн сәулесінен қорғалған жағдайда үш апта бойы ауада кептірілді. Үлгі нұсқалары MUP1024 тіркеу нөмірімен Мугла Сытқы Кочман университетінің (Мугла, Түркия) Химия кафедрасының гербарий қорына тапсырылды (Azhikhanova et al., 2025; Flora of Kazakhstan, 1964).

*Phlomis tuberosa* L. сабағы биомассасын қышқылмен өңдеу. Ауада кептірілген *Phlomis tuberosa* L. сабағының 10 г үлгісі 80% құмырсқа қышқылының 100 мл



Сурет 1. *Phlomis tuberosa* L. биомассасын целлюлоза, гемицеллюлоза және лигнин фракцияларына бөлу сызбанұсқасы.

ерітіндісімен алдын ала өңделді. Қоспа лигноцеллюлозалық құрылымды ыдыратуды жеңілдету мақсатында 80°C температурада термостатпен бақыланатын май моншасында үш сағат бойы 120 айн/мин жылдамдықпен үздіксіз араластыра отырып қыздырылды.

Реакция аяқталғаннан кейін суспензия қатты және сұйық фазаларды бөлу үшін сүзілді. Нәтижесінде құмырсқа қышқылында еритін фракция (spent liquor) және целлюлозаға бай қатты қалдық алынды. Қатты қалдықтағы целлюлоза матрицасына әлсіз байланысқан лигнин немесе гемицеллюлоза қанттарының қалдықтарын жою мақсатында ол 80% жаңа құмырсқа қышқылының 100 мл ерітіндісімен жуылды.

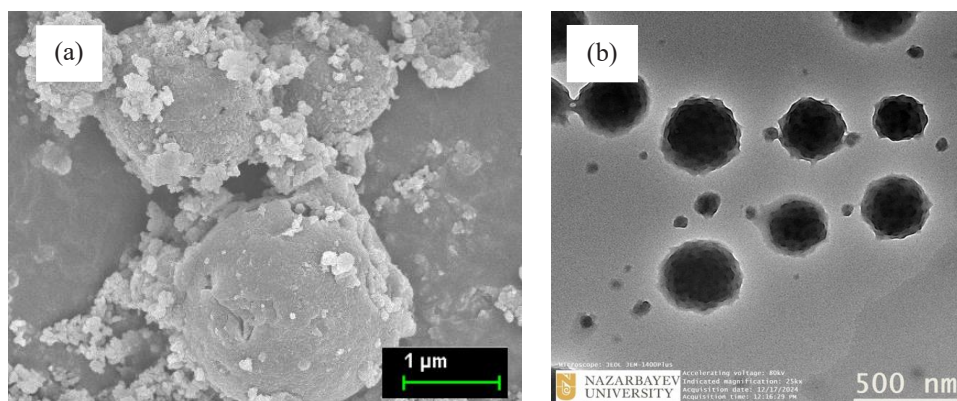
Құмырсқа қышқылын қайта пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін spent liquor 60 °C температурада роторлы буландырғышта концентрленіп, шамамен 100 мл қалпына келтірілген құмырсқа қышқылы алынды. Құрамында еріген компоненттер бар қалған сулы фаза 50 мл деиондалған сумен сұйылтылып, кейін 5000 айн/мин жылдамдықта 10 минут бойы центрифугаланды. Нәтижесінде лигнинге бай тұнба түзілді, ол кейін жуылып, кептіргіш шкафта кептірілді.

Еріген гемицеллюлоза бар үстіңгі сұйық фаза еритін фракция ретінде белгіленді. Барлық тәжірибелер алдыңғы зерттеуіміздегідей үш қайталаумен жүргізілді (Azhikhanova et al., 2025).

**Зерттеу әдістері.** *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің сабақтарынан бөлініп алынған лигниннің беткі морфологиясын зерттеу үшін үдеткіш кернеуі 5–20 kV болатын сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) (Zeiss Crossbeam 540, Германия) қолданылды. Беткі морфологияны жан-жақты талдау мақсатында әртүрлі үлкейту деңгейлерінде суреттер түсірілді. SEM талдауы үшін үлгілер екіжақты жабысқақ таспа көмегімен көміртекті негізі бар металл тұғырға бекітілді. Кейін үлгі беттері автоматты Quorum Q150T ES тозаңдатқыш құрылғысы арқылы қалыңдығы 10.0 нм алтын қабатымен қапталды.

Лигнин экстрактісіндегі функционалдық топтарды анықтау үшін Фурье түрлендірулі инфрақызыл спектроскопия (FTIR) әдісі қолданылды. Спектрлер ATR инфрақызыл модулімен жабдықталған Cary 600 Series FTIR спектрофотометрі (Agilent Technologies) көмегімен 500–4000 см<sup>-1</sup> диапазонында тіркелді. Спектрлік ажыратымдылық 4 см<sup>-1</sup>, ал сканерлеу жылдамдығы 1 см<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup> болды. Барлық нәтижелер үш үлгінің орташа мәні ± стандартты ауытқу түрінде берілді.

**Нәтижелер мен талқылау.** 3-суретте *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің сабақтарынан бөлініп алынған лигниннің FTIR, SEM және TEM талдаулары арқылы алынған физика-химиялық сипаттамаларының нәтижелері көрсетілген. 2а-суретте лигниннің құрылымдық тұтастығын айқын көрсететін жоғары ажыратымды SEM бейнесі ұсынылған, онда яғни айқын



Сурет 2. *Phlomis tuberosa* L. сабағынан бөлініп алынған лигниннің сипаттамасы: (a) SEM бейнесі (масштаб сызығы: 1  $\mu\text{m}$ ), (b) TEM бейнесі.

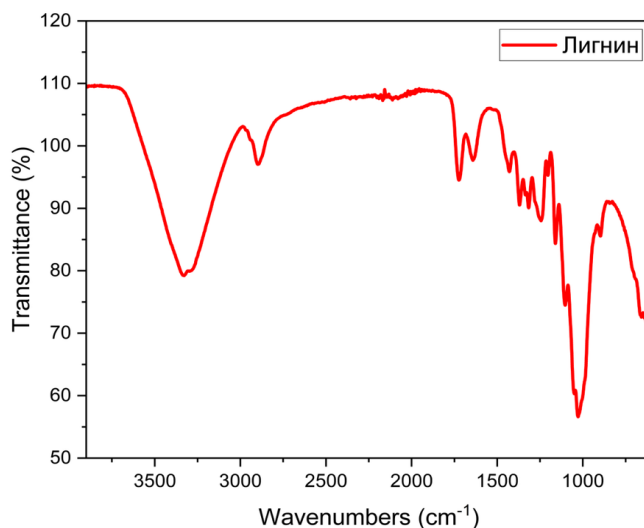
деформация немесе фрагментация байқалмайды. Лигнин бірнеше микрометрлік өлшемдегі микросфералар түріндегі пішінді морфологияны көрсетті. Қаттылық немесе үзілу байқалған жоқ. Микросфералардың бетінде көбіне қабыршақ тәрізді құрылымдар таралған (Dai et al., 2021). Микросфералар тәрізді архитектураның сақталуы және беткі ірі ақаулардың болмауы лигниннің тиімді бөлініп алынғанын және оның табиғи жақын құрылымын сақтағанын дәлелдейді.

Лигниннің нанокұрылымдық морфологиясын бағалау үшін трансмиссиялық электрондық микроскопия (ТЕМ) талдауы қолданылды. Лигниннің ТЕМ бейнесі 2b-суретте көрсетілген. ТЕМ нәтижелері лигнин бөлшектерінің пішіні мен мөлшері үлгі түріне байланысты өзгеретінін көрсетті. Сфералық лигнин үлгілері біркелкі таралған, дөңгелек бөлшектер түрінде көрінді. Бөлшектердің мөлшері нанометрлік диапазонда болып, олардың морфологиясы салыстырмалы түрде біркелкі болды (Dai et al., 2021; Spiridon & Tanase, 2018).

ТЕМ нәтижелері лигниннің морфологиялық сипаттамалары қолданылған бөлу әдісіне тікелей тәуелді екенін көрсетті. Алынған деректер лигнинді функционалдық материалдар, адсорбенттер немесе композиттік толтырғыштар ретінде қолдану әлеуетін ғылыми тұрғыда негіздейді.

Фурье трансформациясы инфрақызыл (FTIR) лигнин үлгісінің спектрлері, өткізгіштік режимде  $500\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$  толқын нөмірлері аралығында өлшенді. FTIR әдісі *Phlomis tuberosa* L. сабағынан алынған лигниннің функционалдық топтарды анықтау үшін қолданылды (3-сурет). FTIR спектрі лигнинге тән функционалдық топтардың сақталғанын растайды. Спектр лигниннің сипатты сіңіру жолақтарын көрсетеді, шамамен  $3300\text{ cm}^{-1}$  аймағындағы кең жұтылу жолағы О-Н созылу тербелістеріне сәйкес келеді және лигнин тізбегіндегі гидроксил топтары арасындағы кең ауқымды сутектік байланыстардың бар екенін көрсетеді.

Алифатты және ароматты топтардағы С-Н созылу тербелістері  $2900\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  маңында, ароматты скелеттік тербелістер (С=С) шамамен  $1600$  және  $1500\text{ cm}^{-1}$ -де, сондай-ақ эфир және фенолдық топтардан С-О/С-О-С созылуы  $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$  аралығында.



Сурет 3. *Phlomis tuberosa* L. сабағынан бөлініп алынған лигниннің FTIR спектрі.

Анықталған спектралдық белгілер лигниннің полифенолдық құрылымына тән негізгі функционалдық топтардың сақталғанын растады. Алынған нәтижелер лигниннің құрылымдық тұтастығы бұзылмағанын көрсетеді, бұл әдебиеттегі FTIR спектрлерімен сәйкес келеді (Zhang et al., 2021). Бұл зерттелген лигниннің физика-химиялық қасиеттері сақталғанын және оны әртүрлі қолдану салаларында тиімді пайдалануға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

**Қорытынды.** Тұрақты және жаңартылатын биоматериалдарға сұраныстың артуы дәстүрлі ағаш негізіндегі көздерден басқа баламалы лигноцеллюлозалық ресурстарды анықтаудың маңыздылығын көрсетеді. Осы контексте, аталған зерттеу *Phlomis tuberosa* L. өсімдігінің лигнин көзі ретінде әлеуетін қарастырды. Зерттеу осы дәрілік өсімдіктің сабақтарынан лигнинді алғаш рет құмырсқа қышқылымен өңдеу әдісі арқылы сәтті бөлініп алынды. Бұл тәсіл агрессивті химикаттарға тәуелділікті азайта отырып, алынған биополимердің тиімділігін және құрылымдық тұтастығын сақтап, қазіргі экологиялық мәселелерді шешуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер физика-химиялық сипаттау ұсынылған әдістеменің дұрыстығын растады. FTIR талдауы лигнинге тән функционалдық топтардың сақталғанын дәлелдеп, оның полимерлі фенолдық құрылымының сақталғанын көрсетті. SEM және ТЕМ зерттеулері тиімді бөлінуді көрсетіп, анықталған морфологиясы бар және агрегациясы аз бөлшектер алынғанын дәлелдеді. Бұл нәтижелер бөліну әдісінің сенімділігін растайды және *Phlomis tuberosa* L. ағаштан тыс лигниннің перспективалы көзі бола алатыны жөніндегі бастапқы гипотезаны қолдайды.

Зерттеу ғылыми білімге үлес қосып, өсімдіктің фитохимиялық сипаттамасын кеңейтті және оның лигнин құрамына алғашқы жан-жақты көзқарас берді. Бұл зерттеу тұрақты лигноцеллюлозалық шикізат спектрін кеңейтеді және биомассаны құнды өнімдерге айналдыруда жасыл химия тәсілдерінің рөлін

күшейтеді. Сонымен қатар, алынған лигниннің құрылымдық қасиеттері оны наногидрогельдерді дамыту, дәрілерді жеткізу жүйелері және басқа да заманауи биоматериал технологияларында қолдануға мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, бұл зерттеу материалтану және биомедицина саласында функционалдық модификация, ірі көлемді өңдеу және интердисциплинарлық қолдану бағытындағы болашақ зерттеулерге жол ашуы мүмкін.

### References

- Alipieva K.I., Jensen S.R., Franzyk H., Handjieva N.V., Evstatieva L.N. (2000) Iridoid glucosides from *Phlomis tuberosa* L. and *Phlomis herba-ventis* L. *Zeitschrift für Naturforschung C*. – Vol. 55(3-4). – P. 137-140. <https://doi.org/10.1515/znc-2000-3-402> (in Eng.).
- Amor I.L.B., Boubaker J., Sgaier M.B., Skandrani I., Bhouri W., Neffati A., Kilani S., Bouhlel I., Ghedira K., Chekir-Ghedira L. (2019) Phytochemistry and biological activities of *Phlomis* species. *Journal of Ethnopharmacology*. – No.125. – P. 183-202. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.06.022> (in Eng.).
- Azhikhanova Zh., et al. (2025) Phytochemical profiling and various biological activities of *Phlomis tuberosa* L. *Scientific Reports*. – No. 15. – P. 7293. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80456-5> (in Eng.).
- Azhikhanova Zh., Megbenu H.K., Zhengis A., Baisalova G., Shaimardan M., Aldongarov A., Karibayev M., Ali M.O., Nuraje N. (2026) Bio based cellulose membrane from *Phlomis tuberosa* L. for methylene blue dye removal from wastewater and molecular interaction mechanisms. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-31751-2> (in Eng.).
- Bouhfid R., Qaiss A.E.K., Raji M. (2025) Morphological properties of lignin. In: *Handbook of Lignin*. – P. 395-429. [https://doi.org/10.1007/978-981-96-7633-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-96-7633-0_17) (in Eng.).
- Dai J., Patti A., Saito K. (2019) Recent developments in chemical degradation of lignin: catalytic oxidation and ionic liquids. *Tetrahedron Letters*. – No.57. – P. 4945-4951. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2016.09.084> (in Eng.).
- Dai K., Zhao G., Wang Z., Peng X., Wu J., Yang P., Li M., Tang C., Zhuang W., Ying H. (2021) Novel mesoporous lignin calcium for efficiently scavenging cationic dyes from dye effluent. *ACS Omega*. – No. 6. – P. 816-826. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05401> (in Eng.).
- Flora of Kazakhstan (1964) Almaty: Publishing House of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. – Vol. 7. – P. 396. (in Eng.).
- Gosselink R.J.A., Teunissen W., Van Dam J.E.G., De Jong E., Gellerstedt G., Scott E.L., Sanders J.P.M. (2012) Lignin depolymerisation in supercritical carbon dioxide/acetone/water fluid for the production of aromatic chemicals. *Bioresource Technology*. – No.106. – P. 173-177. (in Eng.).
- Kai D., Tan M.J., Chee P.L., Chua Y.K., Yap Y.L., Loh X.J. (2016) Towards lignin based functional materials in a sustainable world. *Green Chemistry*. – No.18. – P. 1175-1200. (in Eng.).
- Olennikov D.N., Dudareva L.V., Tankhaeva L.M. (2010) Chemical composition of essential oils from *Galeopsis bifida* and *Phlomis tuberosa*. *Chemistry of Natural Compounds*. – No. 46. – P. 316-318. (in Eng.).
- Sheridan E., et al. (2024) A systematic study on the processes of lignin extraction and nanodispersion to control properties and functionality. *Green Chemistry*. – No. 26. – P. 2967-2984. <https://doi.org/10.1039/d3gc04299e> (in Eng.).
- Spiridon I., Tanase C.A. (2018) Design, characterization and preliminary biological evaluation of new lignin chitosan biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*. – No. 114. – P. 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.140> (in Eng.).
- Vitaliy K., Tamara S., Mariya S., Svetlana K., Nadezhda C., Bolat M. (2018) Chemical composition of essential oil from aerial parts of *Phlomis tuberosa* L. growing wild in Northern Kazakhstan. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. – Vol. 21(2). – P. 462-475. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1441076> (in Eng.).
- Zhang Y., Wang H., Sun X., Wang Y., Liu Z. (2021) Separation and characterization of biomass components (cellulose, hemicellulose, and lignin) from corn stalk. *BioResources*. – No. 16(4). – P. 7205-7219. <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.7205-7219> (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)  
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)  
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

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

Signed for print: June 22, 2026  
Format: 70×90 1/16. 24.5 printed sheets. Order No. 2.