

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№4
2025**

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

2025 • 4



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

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

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

Бас редактор:

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

Редакция ұжымы:

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

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

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

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

Главный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

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

Свидетельство № **KZ93VPY00121157** о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

CONTENTS

PHYSICS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHEMISTRY

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

А. Нурлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Аби́льдин, К. Тошта́й

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

Г.Ж. Байсало́ва, Б.К. Ерта́й, А.А.Талтено́в, П. Кужа́това, Г.Е. Саспу́гаеваКоличественное определение суммы фенольных соединений в талломе *PARMELIA SULCATA*.....274**Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гайпов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нурғалиев**

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 4.
Number 356 (2025), 91–104

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.386>

UDC 629.78.075.001.14; 629.78:001.891
ГПТН 89.17.15

©A.V. Serebryanskiy^{1*}, Ch.B. Akniyazov^{1,2}, Ch.T. Omarov¹, S. Sittykova¹,
D. Kadyrova¹, 2025.

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, 050020, Kazakhstan;

²Te Punaha Atea - Space Institute, University of Auckland,
Auckland, New Zealand.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

ANALYSIS OF LUNAR IMPACT FLASHES STATISTICS

Serebryanskiy Alexander — PhD, Head of the Observational Astrophysics Department Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: serebryanskiy@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Akniyazov Chingiz — PhD student. Acting Head of the Satellite Observations and Information Systems Laboratory, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, Te Punaha Atea - Space Institute, University of Auckland, Auckland, New Zealand,

E-mail: akniyazov@yahoo.com, cakn210@aucklanduni.ac.nz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-0213>;

Omarov Chgis — Professor, PhD. Fesenkov Astrophysical Institute, 050020, Almaty, Kazakhstan, Email: chingis.omarov@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>;

Sittykova Sofiya — B.Sr, Engineer in the Department of Observational Astrophysics, Fesenkov Astrophysical Institute. Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sofiasittykova@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4505-432X>;

Kadyrova Daiana — BSc, Engineer at the Laboratory of Observations of Artificial Earth Satellites. Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kadyrova@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>.

Abstract. This paper analyzes research on the frequency and characteristics of meteoroid impacts on the lunar surface. These impact events provide data on the velocities, timing, and distribution of meteoroids, which can be used to refine meteoroid population models, validate existing lunar impact models, support lunar seismology research, and inform safety measures for future lunar missions. The study proposes using a high-power camera or a two-channel reflector telescope in lunar orbit to detect impact flashes. The telescope would utilize CCD photometry in the visible range and infrared observations for a more comprehensive analysis. The dual-channel system would enhance accuracy by filtering out false signals. The parameters of the telescope and the requirements for the system as a whole are described. Such studies complement and simultaneously expand the capabilities of projects such as LUMIO

and studies of a population of small-sized (about 1 mm or less) meteoroids conducted by ground-based observations. The larger aperture and infrared capabilities will allow for the detection of smaller meteoroids and the study of post-impact processes. This research would significantly contribute to our understanding of the lunar meteoroid environment and cislunar situational awareness within the framework of the concept of the Kazakhstan cislunar telescope being developed, and enhance preparedness for future lunar exploration.

Keywords: meteoroids, meteoroid observations, cislunar orbit, CCD photometry, infrared observations

Funding. Работа выполняется в рамках Программы № BR24992759 "Разработка концепции первого казахстанского орбитального окололунного телескопа - Этап I", финансируемого МНВО РК.

©А.В. Серебрянский^{1*}, Ч.Б. Акниязов^{1,2}, Ч.Т. Омаров¹, С. Ситтыкова¹,
Д. Кадырова¹, 2025.

¹В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан;

²Te Punaha Atea - Ғарыш институты, Окленд университеті,
Окленд, Жаңа Зеландия.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

АЙДЫҢ БЕТКІ ҚАБАТЫНА МЕТЕОРИДТАРДЫҢ СОҚТЫҒЫСУЫН СТАТИСТИКАЛЫҚ ТҮРҒЫДА ЗЕРТТЕУ

Серебрянский Александр — PhD, Астрофизика бақылау бөлімінің бастығы, В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: serebryanskiy@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Акниязов Чингиз — PhD докторанты, Жасанды Жер серіктерін және ақпараттық жүйелерді бақылау зертханасының меңгеруші міндетін атқарушы, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан, Te Punaha Atea - Ғарыш институты, Окленд университеті, Окленд, Жаңа Зеландия,

E-mail: akniyazov@yahoo.com, cahn210@aucklanduni.ac.nz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-0213>;

Омаров Шыңғыс — профессор, PhD, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: chingis.omarov@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>;

Ситтыкова София — B.Sr, Инженер В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sofiasittykova@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4505-432X>;

Кадырова Дайана — BSc, Инженер В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: kadyrova@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>.

Аннотация. Айдың беткі қабатына метеоридтардың соқтығысу статистикасы бойында зерттеулерге талдау жүргізілді. Ай бетіндегі соқтығысу оқиғаларын бақылау метеороидтардың жылдамдығы, уақыттық және кеңістіктегі таралуы

туралы ақпарат береді. Бұл ақпараттар метеороидтардың популяция модельдерінің сенімділігін арттыру, Аймен соқтығысудың қолданыстағы модельдерін тексеру, ай сейсмологиясын зерттеуге және оның ішкі аймақтарын модельдеуге ықпал ету және болашақтағы. Ай миссиялары үшін ай ғарыштық жағдайлардан хабардар ету бағдарламасын бастау үшін пайдалануға болады. Жұмыста метеороидтардың Айдың беткі қабатына әсер етуінен жарқылдарды анықтау үшін ай орбитасында зерттеу жүргізу мүмкіндігі қарастырылады, ол дихроикалық (екі түрлі толқын ұзындығында шағылысу немесе өту) айнамен бөлінген екі арнасы бар жылдам камераны немесе жылдам рефлекторлы телескопты пайдаланады. Арналардың біріне көрінетін диапазондағы ЗБА-фотометриясы (зарядталған байланыс аспабы, ЗБА) үшін, екіншісі — ИҚдиапазонындағы бақылаулар үшін ерекшеленеді. Екі арна ғарыштық сәулелер мен басқа да кездейсоқ оқиғалардан туындаған жалған сигналдарды жою кезінде сәйкестік жүйесін енгізуді қамтамасыз етеді. Телескоптың параметрлері және жалпы жүйеге қойылатын талаптар сипатталған. Мұндай зерттеулер белгілі бір мағынада LUMIO және жердегі бақылаулар жүргізетін шағын өлшемді (шамамен 1 мм және одан аз) метеороидтардың популяциясын зерттеу сияқты жобалардың мүмкіндіктерін толықтыру және кеңейту болып табылады. Камераның (телескоптың) апертурасын ұлғайту және ИҚ арнасының болуы соқтығысудың тіркелген оқиғаларының энергетикалық диапазонын ұсақ бөлшектерге қарай айтарлықтай кеңейтуге, сондай-ақ соқтығысудан кейінгі процестерге зерттеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл зерттеулерді орындау қазақстандық Айға жақын орбитадағы телескоптың әзірленіп жатқан тұжырымдамасы шеңберінде Айға жақын жағдайдан хабардар ету үшін бақылаулар бойынша жоспарланған міндетке айтарлықтай қосымша болады.

Түйін сөздер: метеороиды, наблюдение метеороидов, окололунные орбиты, CCD-фотометрия, инфракрасные наблюдения

©А.В. Серебрянский^{1*}, Ч.Б. Акниязов^{1,2}, Ч.Т. Омаров¹, С. Ситтыкова¹,
Д. Кадырова¹, 2025.

¹Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова. Алматы, Казахстан;

²Te Punaha Atea — Космический институт, Окленд, Новая Зеландия.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ УДАРОВ МЕТЕОРОИДОВ О ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ

Серебрянский Александр — PhD, Начальник отдела наблюдательной астрофизики. Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан;

E-mail: serebryanskiy@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Акниязов Чингиз — Докторант PhD. и.о. заведующего лабораторией наблюдений ИСЗ и информационных систем, Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, Te Punaha Atea - Космический институт Оклендского университета, Окленд, Новая Зеландия,

E-mail: akniyazov@yahoo.com, cakn210@aucklanduni.ac.nz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-0213>;

Омаров Чингис — профессор, PhD, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан,

E-mail: chingis.omarov@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>;

Ситтыкова София — B.Sr, Инженер, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан,

E-mail: sofiasittykova@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4505-432X>;

Кадырова Дайана — BSc, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан,

E-mail: kadyrova@fai.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>.

Аннотация. Проведён анализ существующих исследований, посвящённых статистике ударов метеороидов о поверхность Луны. Наблюдения вспышек, возникающих при столкновениях с лунной поверхностью, позволяют получать сведения о скоростях, пространственном и временном распределении метеороидов. Эта информация важна для уточнения моделей метеороидных популяций, проверки существующих моделей взаимодействия с поверхностью Луны, для задач лунной сейсмологии и моделирования внутренних областей Луны, а также для формирования системы ситуационной осведомлённости для будущих лунных миссий. В работе рассматривается возможность проведения исследований на окололунной орбите, направленных на обнаружение вспышек от ударов метеороидов с использованием светосильной камеры или телескопа-рефлектора с двумя каналами, разделёнными дихроичным зеркалом. Один канал предназначается для ПЗС-фотометрии в видимом диапазоне, второй — для наблюдений в инфракрасном диапазоне. Два канала обеспечивают систему совпадений, позволяющую эффективно отсекают ложные сигналы, вызванные космическими лучами и случайными шумами. Описаны основные параметры телескопа и требования к системе. Предлагаемые исследования являются дополнением и расширением возможностей проектов, таких как LUMIO, а также наземных наблюдений малых метеороидов размером порядка 1 мм и меньше. Увеличение апертуры и наличие ИК-канала существенно расширяют диапазон регистрируемых энергий столкновений, позволяя фиксировать более мелкие частицы и изучать послеударные процессы. Реализация предложенной программы будет важным вкладом в развитие системы окололунной ситуационной осведомлённости в рамках концепции казахстанского окололунного телескопа.

Ключевые слова: метеороиды, наблюдение метеороидов, окололунные орбиты, CCD-фотометрия, инфракрасные наблюдения

Введение. Модели появления и развития газопылевого и в последующем протопланетного диска являются основополагающими в теории эволюции Солнечной системы. Подтверждение или опровержение этих моделей строится на наблюдениях современного состояния газопылевой составляющей Солнечной системы, а также на анализе распределения и динамики астероидов, комет и метеороидов, что также представляет интерес с точки зрения прогнозирования и оценки их влияния на аппараты в околоземном космическом пространстве (ОКП). С ростом числа аппаратов в ОКП появляется все больше подтверждений

существенности такого воздействия (повреждения солнечных панелей МКС, воздействие микро-метеороидов на JWST). Такое воздействие ожидаемо возрастает во много раз при прохождении Земли через метеорные потоки. Интерес к данной проблеме также возрос с появлением новых программ освоения Луны, таких, например, как Artemis. Однако этот интерес не ограничивается только окололунным и околоземным пространством, но простирается до Луны и Марса. Поверхности этих тел подвержены постоянным бомбардировкам метеороидами всех размеров, поскольку они не обладают плотными атмосферами, а, следовательно, не способны защитить людей и жизненно важные элементы будущей инфраструктуры. Насколько критичным является такое воздействие можно представить если вспомнить, что такие метеороиды имеют скорости до нескольких десятков километров в секунду! Выделяемая энергия при ударе метеороида метрового размера о поверхность Луны, эквивалентна нескольким сотням килограмм в тротиловом эквиваленте. Даже метеороид размером в несколько сантиметров может представлять смертельную угрозу, при этом количество таких тел растет обратно пропорционально их размеру, что предсказывается теорией эволюции Солнечной системы. Однако, как и любая другая теория, она нуждается в экспериментальных проверках и как было показано в работах (Brown и др., 2002; Suggs и др., 2014) наших знаний о плотностях потоков крупных метеороидов и малых астероидов для этого все еще недостаточно.

Поскольку источниками метеороидов являются астероиды и кометы, то анализ роста их числа в ОКП может быть предвестником приближения более крупного тела. Модели распределения метеороидов могут являться дополнительной информацией при построении моделей распределения астероидов и крупных метеороидов в системе Земля-Луна, что само по себе имеет большое значение для безопасности окололунных миссий, число которых растет в последнее время из-за возрастающего интереса к освоению Луны и окололунного пространства со стороны ведущих космических агентств (CNSA, ESA, ISRO, JAXA, NASA, Роскосмос, SpaceIL) (Liakos и др., 2020).

Методы исследований. Традиционно методами анализа распределения популяций метеороидов по размерам и изучения их химического состава являются фотометрический и спектральный анализ результатов вхождения метеоров в атмосферу Земли. Такие наблюдения проводятся уже на протяжении как минимум 50 лет. Однако такие методы имеют определенные трудности. Одной из них является ограниченность площади мониторинга из отдельной взятой обсерватории, что при высоте атмосферы порядка 80 км, составляет около $35 \times 10^3 \text{ км}^2$. Это значительно ограничивает статистику наблюдаемых событий (Liakos и др., 2020). Другой трудностью является совокупный эффект неблагоприятных погодных условий и паразитной засветки. Для решения перечисленных трудностей было предложено наблюдать поверхность Луны на предмет обнаружения признаков столкновения метеороидов о ее поверхность. Площадь поверхности Луны, обращенной к Земле, составляет $19 \times 10^6 \text{ км}^2$, что почти в 500 раз больше той площади, что доступна при наблюдениях вспышек в атмосфере. Другими словами, предлагается использовать

Луну в качестве своеобразного экрана-мишени, на котором мы в принципе можем наблюдать более полную статистику столкновений метеороидов. При этом логично предположить, что количество ударов метеороидов о лунную поверхность на единицу поверхности аналогично числу столкновений с поверхностью Земли той же площади.

Наблюдение за событиями столкновения с поверхностью Луны дает информацию о скоростях, временном и пространственном распределении метеороидов. Эта информация может быть использована для повышения достоверности моделей популяции метеороидов, проверки существующих моделей столкновений с Луной, содействия в исследованиях лунной сейсмологии и моделированию ее внутренних областей, а также для инициирования программы осведомленности об окололунной обстановки для будущих миссий (LUMIO, 2023).

О наблюдениях так называемых транзитных лунных явлений сообщалось неоднократно, а Уинифред Кэмерон каталогизировала 1468 таких событий (Chilton, 1969). Некоторые из этих событий наблюдались двумя и более наблюдателями, находящимися в одном и том же географическом месте. Но еще ранее Ассоциация Наблюдателей Планет и Луны¹ (LMIS) на протяжении более 20 лет с 1940-х до 1960-х годов организовывала мониторинг Луны с целью обнаружения событий метеоритных столкновений с ее поверхностью. Однако, ни один из многих кандидатов таких столкновений так и получил независимого подтверждения. Но уже в начале 90-х годов 20-го столетия с использованием фотометров и с появлением первых ПЗС приемников к этой задаче вернулись вновь. Сначала Melosh и др. (1993) (Melosh и др., 1993) провели теоретическую оценку обнаружения вспышек от удара метеороида о поверхность Луны с помощью фотометров. Ими было показано, что при ударе о поверхность Луны метеороида размером более одного метра, вспышка от такого события может быть обнаружена фотометрическим методом телескопом метрового класса. (Ortiz и др., 1999) проанализировали 4.3 часа наблюдений Лунной поверхности и не обнаружили соударений с энергией более 5×10^6 Дж. Однако сам метод прямой ПЗС-визуализации был протестирован и заявлен как потенциально новый инструмент для оценки популяции метеороидов в ОКП, массы и скорости которых таковы, что излучаемая энергия при столкновении превышает 5×10^6 Дж. Возможность проверить метод в деле была предоставлена уже в том же году, наблюдая удары метеороидов во время пролета потока Леонид 18 ноября 1999 года. Впервые было получено независимые подтверждения вспышек (Ortiz и др., 2000; Dunham и др., 2000). Это послужило толчком к организации новых скоординированных кампаний систематических поисков таких событий и началу проведения полноценных научных исследований в этом направлении. Уже в 2000 году (Bellot и др., 2000) провели наблюдения Луны на телескопе с апертурой 20 см, оснащенного видеокамерой с полем зрения $8' \times 6'$, а также представили методику оценки яркости событий с учетом преобразования кинетической энергии в излучение.

В работе (Ortiz и др., 2002), используя параметр эффективности преобразования

¹ Association of Lunar and Planetary Observers

энергии в световой поток по результатам наблюдения Леонид в 1999 году, равного 2×10^{-3} , пришли к выводу, что наблюдения могут быть использованы для оценки плотности потока метеороидов. Их наблюдения согласуются с потоком метеороидов 18 ноября, 2001 в 18:15 UT 0,1 метеороидов с массой более 2×10^{-8} кг $\text{км}^{-2} \text{ч}^{-1}$.

Lunar Meteoritic Impact Search (LMIS) организовало наблюдения за Луной во время шести событий в 2000 и 2001 годах. Затем в 2006 году программа NASA MEO (Meteoroid Environment Office) начала мониторинг столкновений с Луной и обнаружила 399 вспышек в течение 2005—2016 годов. Параллельно (Yanagisawa и др., 2008) обнаружили столкновения с Геминидами и определили массу частиц, продолжительность вспышек и под каким углом эти столкновения происходили.

В 2014 году (Suggs и др., 2014) определили кинетическую энергию и распределение массы 126 обнаруженных столкновений по данным NASA ALaMO (Automated Lunar and Meteor Observatory). Ими получено, что для Луны поток для предельной энергии $2,5 \times 10^{-6}$ кТ в тротиловом эквиваленте или $1,05 \times 10^7$ Дж составляет $1,03 \times 10^{-7}$ $\text{км}^{-2} \text{ч}^{-1}$, а поток для предельной массы 30 г составляет $6,14 \times 10^{-10}$ $\text{м}^{-2} \text{год}^{-1}$.

В 2015 году в Национальной обсерватории Афин (NOA) начал свое развитие амбициозный проект NELIOTA (NEO Lunar Impact and Optical TrAnsients), финансируемый Европейским космическим агентством (ESA)² по мониторингу Луны с целью обнаружения столкновений с ней небольших метеороидов. Наблюдения проводятся с помощью 1,2-метрового телескопа и двух видеокамер. Краткосрочной целью проекта является обнаружение лунных ударных вспышек и оценка физических параметров метеороидов (например, массы, размера), а также параметров ударов (например, температуры, размеров кратеров на поверхности). Среднесрочной целью является получение статистических данных о частоте и размерах метеороидов и малых ОСЗ, которые будут использоваться космической промышленностью в качестве важной информации для защиты космических аппаратов. На данный момент (октябрь 2024 года) завершен второй этап наблюдений. За 6,5 лет непрерывного мониторинга Луны было обнаружено 187 ударных вспышек (Liakos и др., 2020); Bonanos и др., 2018; Xilouris и др., 2018; Liakos и др., 2024). По результатам этого проекта была получена очень важная информация по статистике событий, приведенная в Таблице 1 из работы (Xilouris и др., 2018). Частота ударов о поверхность Луны составляет примерно 7 ударов в час для случайных процессов и в два раза больше ударов при пролете метеорных потоков. Плотность потоков при этом порядка 2×10^{-7} в час на квадратный километр и 4×10^{-7} в час на квадратный километр, соответственно.

² <https://neliota.astro.noa.gr/About/Project>

Таблица 1 - Показатели обнаружения NELIOTA, основанные на проверенных вспышках и частотах появления метеороидов на Луне (на всей поверхности) и вокруг системы Земля-Луна внутри метеороидного потока

	Detection rate (meteoroid h ⁻¹ km ⁻²)	Impact frequency on Moon (meteoroid h ⁻¹)	Appearance frequency around Earth (meteoroid h ⁻¹)			
			90 km	1600 km	20000 km	36000 km
Sporadic	1.93*10 ⁻⁷	7.3	101	154	1683	4344
Stream	3.79*10 ⁻⁷	14.4	199	303	3312	8550

Эти результаты позволили получить статистику потоков метеороидов для разных высот в околоземном пространстве (Рисунок 1), когда система Земля-Луна находится (красная линия) или не находится (зеленая линия) внутри метеороидного потока. Также указаны диапазоны низкой околоземной орбиты (LEO), средней околоземной орбиты (MEO) и геостационарной орбиты (GEO) (Liakos и др., 2020; Bonanos и др., 2018; Xilouris и др., 2018; Liakos и др., 2024; Yanagisawa и др., 2002).

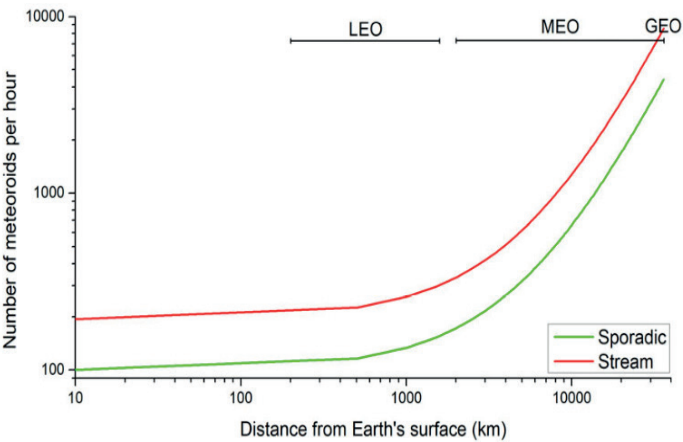


Рисунок 1 - Частота появления метеороидов вокруг Земли

Помимо проекта NELIOTA на сегодняшний день существуют еще две группы, осуществляющие систематический мониторинг поверхности Луны с целью обнаружения ударных вспышек. Первая группа — это команда MIDAS³, вторая — это Управление НАСА⁴ по метеороидной среде.

Задачу анализа статистики распределения и динамики малоразмерных метеороидов можно было бы решить, наблюдая теньевую сторону Земли с орбиты, но это оказалось невозможным из-за значительного светового загрязнения. Наблюдение же теньевой стороны Луны с поверхности Земли и околоземных орбит тоже сопряжено с определенными трудностями. Во-первых, из-за наличия большого числа искусственных аппаратов и фрагментов космического мусора между Землей и Луной, при наблюдениях все чаще регистрируются отблески от

³ MIDAS - Moon Impact Detection and Analysis System

⁴ Meteoroid Environment Office - NASA



этих объектов, часть из которых проецируется на диск Луны и может привести к ошибочным оценкам количества реальных столкновений. Во-вторых, из-за удаления Луны вспышки от ударов малоразмерных фрагментов зарегистрировать будет довольно сложно, поскольку это потребует использование инструментов с большой апертурой. В-третьих, с поверхности Земли и с низких околоземных орбит приходится полагаться на сеть телескопов или флотилию аппаратов для непрерывного или достаточно продолжительного наблюдения Лунной поверхности, учитывая статистику таких событий. Но, конечно, наибольшую сложность для наземных наблюдений представляет атмосфера Земли. Плохая погода или плохие условия видимости не позволяют уверенно обнаруживать слабые быстрые вспышки и негативно влияют на наблюдения более длительных ярких событий. Другой причиной, влияющей на наблюдения, является блик от дневной стороны Луны, который не позволяет наблюдать Луну, когда ее фаза больше $\sim 45\%$. Вышеперечисленные трудности можно преодолеть с помощью космических телескопов на окололунной орбите Луне (LUMIO, 2023) или на таких орбитах, при которых аппарат будет достаточно продолжительно находиться относительно близко от Луны.

Таковым проектом является LUMIO. В рамках развития проекта окололунного телескопа в Казахстане предлагается часть времени посвятить задаче обнаружения ударов о лунную поверхность метеороидов. Предлагаемый проект будет являться существенным дополнением усилиям LUMIO и отчасти продолжателем этих исследований, поскольку предполагается проводить такие наблюдения в ИК диапазоне (инструмент LUMIO будет их проводить в видимом диапазоне), а сам инструмент предполагается большей апертуры, что даст возможность расширить анализ на более мелкие метеороиды.

Выбор ИК диапазона продиктован следующим фактом. При столкновении метеороида с поверхностью Луны, происходит взрывное выделение энергии в момент самого удара и последующим остыванием области Луны, куда пришелся удар, с выделением тепловой энергии в ИК диапазоне. Время охлаждения зависит от энергии, поглощенной материалом Луны на единицу площади поверхности, и/или от того сколько энергии было передано области непосредственно под облаком разогретого газа из-за взрыва, а также остыванием фрагментов самого метеороида, оставшихся после удара. Продолжительность вспышки в результате удара, по некоторым оценкам длится порядка 10^{-3} мс. При этом, наблюдавшиеся с Земли вспышки на Луне в видимом диапазоне длились около 30 мс, что скорее всего является следствием охлаждения места удара. Отчасти, продолжительное свечение (более 50 мс) после удара можно объяснить медленным остыванием фрагментов самого тела (Madiedo и др., 2018).

Скоротечность процессов, связанных с ударами, предъявляет дополнительные требования к системе в целом и алгоритму анализа получаемых данных в частности. Для построения кривой блеска события наблюдение этого события должно происходить при частоте порядка 100 кадров в секунду. Из-за большого объема данных и времени считывания сигнала нужен такой детектор, который

позволяет на этапе считывания сигнала выделять и считывать отдельный патч (участок) с зарегистрированным событием из всего изображения. Поскольку планируется, что мониторинг лунной поверхности будет осуществляться с частотой порядка 30 кадров в секунду, то с такой же частотой должен срабатывать алгоритм детектирования события. Как только событие обнаруживается, должна подаваться команда сканирования с частотой 100 кадров в секунду с сохранением патчей кадров, на которых это событие регистрируется.

Для оценки энергетики процесса, помимо его продолжительности, необходимо иметь оценку его температуры, что можно сделать по цветовой характеристике события (Liakos и др., 2024) (Рисунок 2).

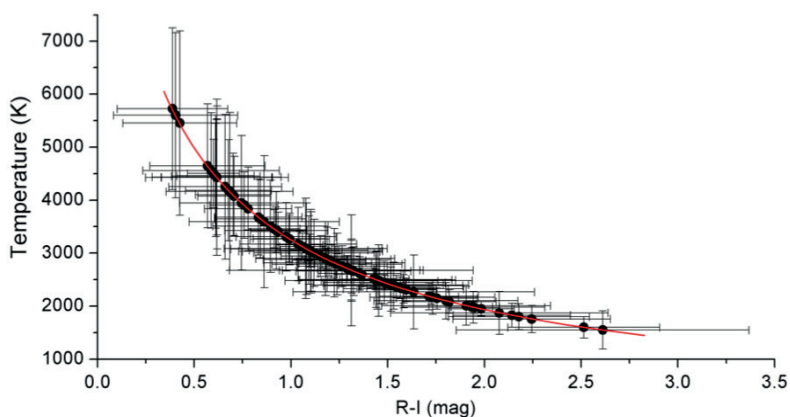


Рисунок 2 — Зависимость показателя цвета (R-I) от температуры (из работы (Liakos и др., 2024)).

Кроме того, было обнаружено, что скорости теплового излучения областей вспышки не одинаковы, что вероятно, связано с разным типом материала метеороидов и лунного грунта и таким образом тоже является предметом исследования. К настоящему моменту не много событий было зарегистрировано сразу в нескольких фильтрах. Например в фильтрах V и I было снято одно событие в 2015 году (Madieto и др., 2019) и в трех фильтрах R,V и B событие в 2019 году (Torputo и др., 2017). Поэтому в рамках развития концепции казахстанского околосолнечного телескопа изначально предполагается возможность наличия двух фотометрических каналов (в том числе для реализации схемы совпадения для отсеивания ложного срабатывания). Один из каналов предлагается выделить под фотометрические наблюдения в ИК диапазоне, а во втором канале в полосе фильтра V Джонсона.

Однако, при расчетах энергетики событий, следует учитывать потерю информации во время считывания сигнала с ПЗС приемника (Liakos и др., 2024). Этот факт должен учитываться как при выборе датчиков (ПЗС камер), так при разработке или оптимизации программного обеспечения.

Что касается оптимизации работы телескопа для решения рассматриваемой

задачи, а также выбора соответствующих орбит, то необходимо учесть известную на данный момент статистику событий вспышек от ударов метеороидов о лунную поверхность. По понятным причинам, статистика ударов обнаруженных с окололунных орбит в предполагаемом диапазоне длин волн нам в настоящее время достоверно неизвестна, но некоторые предположения можно сделать на основе полученных данных от других экспериментов. В работе (Liakos и др., 2024) приведена статистика обнаружение ударов метеороидов (Таблица 2) в зависимости от расположения регистрирующего оборудования (аппарата). Поскольку разрабатываемая концепция окололунного телескопа не подразумевает точных дат ее реализации, нас будет интересовать частота спорадических событий (когда нет метеорных потоков) (Spo), наблюдаемых с окололунной орбиты (Moon, Orbit). Частота событий была получена из предположения об изотропии распределения метеороидов в окололунном и околоземном пространстве. Для получения консервативной оценки мы возьмём за основу статистику только для подтверждённых событий (Validated). Из статистики следует, что вероятное число ударов метеороидов о поверхность Луны порядка 8 событий в час. При наблюдениях теневой стороны Луны мы имеем порядка 4 событий в час, и следовательно минимальная продолжительность сессии наблюдений должна быть не менее ~15 минут для регистрации хотя бы одного события. Этот факт необходимо учитывать при выборе оптимальных орбит и планирования научной программы телескопа в целом.

Таблица 2 - Частота появления метеороидов на Луне и Земле и вокруг них (Liakos и др., 2024).

		Moon		Earth		
		Sur	Orbit	MS	LEO	GEO
Distance (km)			70	90	2000	36000
Validated (meteoroids h ⁻¹)	Spo	7.8	8.4	108	181	3338
	Str	14.8	16.0	205	344	6356
	Total	8.7	9.4	121	202	3742
Validated and suspected (meteoroids h ⁻¹)	Spo	9.9	10.8	138	231	4268
	Str	24.7	26.7	341	573	10594
	Total	11.9	12.9	165	277	5117

В приборном оснащении для задачи обнаружения вспышек от ударов метеороидов о поверхность Луны можно использовать светосильную камеру или светосильный телескоп-рефлектор с двумя каналами, разделенными дихроичным зеркалом. Один из каналов выделяется под ПЗС-фотометрию в видимом диапазоне (V-фильтр Джонсона или без фильтра), второй — под наблюдения в ИК диапазоне с использованием фильтра в диапазоне 5-6 мкм. Два канала обеспечат реализацию системы совпадения при отсеивании ложных сигналов, вызванными космическими лучами и другими случайными событиями. Для ИК канала в настоящее время доступны HgCdTe ПЗС камеры размером 1024×1024 пикселей (зависит от выбора целевой орбиты и физического размера пикселя), обеспечивающими поле зрения $\sim 3^\circ \times 3^\circ$ (при выборе орбиты HALO L2). Размер поля ПЗС-кадра в зависимости

от параметров оптической системы продиктован необходимостью наблюдать весь диск теневой стороны Луны. Одним из возможных решений может быть HAWAII 2RG или HAWAII 4RG компании TELEDYNE^{5,6}.

Для подавления термального шума от узлов телескопа, собственных шумов регистрирующей аппаратуры и фокальной плоскости, необходимо поддерживать температуру на уровне ниже 65 Кельвинов. Для этого нужен многоуровневый радиатор, который включает в себя защитные экраны от тепла, которое идет от солнечных панелей и самого аппарата, необходимость бленды на входное отверстие телескопа, для экранирования паразитного света от Луны и Солнца и охладитель. Учитывая решение работать в ИК диапазоне (5-6 мкм) и, следовательно, наличие криогенной установки для охлаждения инструмента и детектора, а также необходимое наличие двух фотометрических каналов, габариты возможного аппарата будут больше максимально допустимого размера КубСатов в 16U.

Некоторые решения, которые могут быть адаптированы под разрабатываемый инструмент, были представлены в эксперименте LUMIO на конференции iCubeSat (Torputo и др., 2017).

Обсуждение и выводы. Предлагаемая научная задача, по поиску событий ударов метеороидов о поверхность Луны, является в некотором смысле дополнением и одновременно расширением возможностей таких проектов как LUMIO и исследований популяции малоразмерных (порядка 1 мм и меньше) метеороидов, проводимых наземными наблюдениями. Решение этой задачи с использованием наземных наблюдений сильно ограничено из-за невозможности мониторинга больших площадей и, следовательно малоэффективны для полноценного статистического анализа. Кроме того, такие наблюдения отягощены погодными условиями, наличием паразитной засветки и перерывами в наблюдениях, связанных с суточным вращением Земли. В то же время, было показано, что, обладая довольно скромными возможностями бортового инструмента, аппарат на окололунной орбите способен обнаружить столкновения метеороидов размером менее одного миллиметра (LUMIO, 2023). Увеличение апертуры камеры (телескопа) и наличие ИК-канала позволит значительно расширить диапазон энергетики регистрируемых событий столкновений в сторону все более мелких частиц, а также проводить исследования постстолкновительных процессов. Выполнение этой задачи будет являться существенным дополнением к запланированной задаче по наблюдениям в рамках развития окололунной ситуационной осведомленности.

Учитывая большой интерес к изучению Луны и окололунного пространства, предлагаемая научная задача по изучению событий столкновений метеороидов с поверхностью Луны, в сочетании с функционирующими сейчас проектами и планируемым космическим миссиям, а также планируемым исследованиям падения метеоров в атмосфере Земли на широкоугольных оптических комплексах обсерватории Ассы-Тургень, помогут уточнить диапазон размеров малых тел в околоземном космическом пространстве.

⁵ HAWAII-2RG | Teledyne Imaging

⁶ HAWAII-4RG | Teledyne Imaging

Наличие двух фотометрических каналов, предварительно V и J (K), позволит получить температурную характеристику события и наряду с кривой блеска даст возможность получить полную картину событий и, в частности, начальные условия столкновений, определить тип метеороида (Ernst С.М. и др. (2003)). Полученные новые знания в результате этих наблюдений, будут представлять интерес для исследователей Луны, специалистов, занимающихся вопросами безопасности космических аппаратов.

Литература

- Bellot Rubio L. R., Ortiz J. L., Sada P. V. (2000). Luminous Efficiency in Hypervelocity Impacts from the 1999 Lunar Leonids. *The Astrophysical Journal*, 542, L65-L68. - DOI: <https://doi.org/10.1086/312914>
- Bonanos A. Z., Aydelidou C., Liakos A., Xilouris E. M., Dapergolas A., Koschny D., Bellas-Velidis I., Boumis P., Charmandaris V., Fytisilis A., Maroussis A. (2018). NELIOTA: First temperature measurement of lunar impact flashes. *Astronomy and Astrophysics*, 612, A76. - DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732109>;
- Brown, P., Spalding, R. E., ReVelle, D. O., et al. (2002), The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth. *Nature*, 420, 294 URL:<https://www.nature.com/articles/nature01238>;
- Chilton K. E. (1969) Transient Lunar Phenomena *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 63, 203. - <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1969JRASC..63..203C>; Cameron, W.S. Lunar transient phenomena catalog, 1978., url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1978ltpc.book.....C>
- Dunham D. W., Cudnik B., Palmer D. M., Sada P. V., Melosh J., Frankengerger M. B. R., Pellerin L., Venable R., Asher D., Sterner R., Gotwols B., Wun B., Stockbauer D. (2000). The First Confirmed Video Recordings of Lunar Meteor Impacts. Lunar and Planetary Science Conference, 1547. — url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000LPI....31.1547D>
- Ernst C. M., Schultz P. H. (2003). Effect of Initial Conditions on Impact Flash Decay. Lunar and Planetary Science Conference. 1, 2020, url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2003LPI....34.2020E>
- F. Toppo, M. Massari, J. Biggs, P. Di Lizia, K. Mani, D. Dei Tos, S. Ceccherini, V. Franzese, A. Cervone, P. Sundaramoorthy, R. Noomen, S. Mestry, S. Speretta, A. Cipriano, A. Ivanov, D. Labate, A. Jochemsen, R. Furfaro, V. Reddy, R. Walker, J. Vennekens (2017). LUMIO: Lunar Meteoroid Impact Observer. iCubeSat workshop, Cambridge, UK, 30 May 2017 © 2017 Politecnico di Milano, TU Delft, EPFL, S[&]JT, Leonardo, University of Arizona. All rights reserved. URL:<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2018/EPSC2018-320.pdf>
- Liakos A., Bonanos A. Z., Xilouris E. M., Koschny D., Bellas-Velidis I., Boumis P., Charmandaris V., Dapergolas A., Fytisilis A., Maroussis A., Moissl R. (2020). NELIOTA: Methods, statistics, and results for meteoroids impacting the Moon. // *Astronomy and Astrophysics*, 633, A112 - DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936709>
- Liakos A., Bonanos A. Z., Xilouris E. M., Koschny D., Bellas-Velidis I., Boumis P., Maroussis A., Moissl R. (2024). NELIOTA: New results and updated statistics after 6.5 years of lunar impact flashes monitoring. *Astronomy and Astrophysics*, 687, A14. - DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202449542>
- LUMIO (Lunar Meteoroid Impacts Observer) (2023), Call for Membership in the Scientific, Working Groups, 13/02/2023, 1, URL:https://dart.polimi.it/wp-content/resources/attachments/_LUMIO_Call_for_Membership_in_the_SWGs.pdf
- Madiedo J. M., Ortiz J. L., Morales N. (2018). The first observations to determine the temperature of a lunar impact flash and its evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 480, 5010-5016. - DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1862>
- Madiedo J. M., Ortiz J. L., Morales N., Santos-Sanz P. (2019). Multiwavelength observations of a bright impact flash during the 2019 January total lunar eclipse. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486, 3380-3387 - DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stz932>
- Melosh H.J., Artemjeva N.A., Golub A.P., Nemchinov I.V., Shuvalov V.V., Trubetskaya I.A. (1993). Remote Visual Detection of Impacts on the Lunar Surface. Lunar and Planetary Science Conference, 1, 975. — url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993LPI....24..975M>

Ortiz J. L., Aceituno F. J., Aceituno J. (1999). A search for meteoritic flashes on the Moon. *Astronomy and Astrophysics*, 343, L57-L60. — url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999A&A...343L..57O>

Ortiz J. L., Quesada J. A., Aceituno J., Aceituno F. J., Bellot Rubio L. R. (2002). Observation and Interpretation of Leonid Impact Flashes on the Moon in 2001. *The Astrophysical Journal*, 576, 567-573. - DOI: <https://doi.org/10.1086/341625>

Ortiz J. L., Sada P. V., Bellot Rubio L. R., Aceituno F. J., Aceituno J., Gutiérrez P. J., Thiele U. (2000). Optical detection of meteoroidal impacts on the Moon. *Nature*, 405, 921-923. - DOI: <https://doi.org/10.1038/35016015>;

Suggs R. M., Moser D. E., Cooke W. J., Suggs R. J. (2014). The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring. *Icarus*, 238, 23-36. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.04.032>

Suggs, R. M., Moser, D. E., Cooke, W. J. & Suggs, R. J. (2014). The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring. *Icarus*, 238, 23-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.04.032>

Xilouris E. M., Bonanos A. Z., Bellas-Velidis I., Boumis P., Dapergolas A., Maroussis A., Liakos A., Alikakos I., Charmandaris V., Dimou G., Fytisilis A., Kelley M., Koschny D., Navarro V., Tsiganis K., Tsinganos K. (2018). NELIOTA: The wide-field, high-cadence, lunar monitoring system at the prime focus of the Kryoneri telescope. *Astronomy and Astrophysics*, 619, A141. - DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833499>;

Yanagisawa M., Kisaichi N. (2002). Lightcurves of 1999 Leonid Impact Flashes on the Moon. *Icarus*. — 2002, 159, 31-38. - DOI: <https://doi.org/10.1006/icar.2002.6931>

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 4.

«Central Asian Academic Research Center» LLP

Алматы, Қонаев к-сі, 142