

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

2025 • 2



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

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>

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (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 **No.KZ31VPY00111215** issued **31. 01. 2025**

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2025

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 Тілекқабыл 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, 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>

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-Фарабиатындағы 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 Арслан Зайнұталайұлы, 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>

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (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 31.01.2025 ж. берген № KZ31VPY0011215 Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2025

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>

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

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

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство №**KZ31VPY0011215** 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 **31.01.2025**

Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

CONTENTS

PHYSICS

A.A. Gazizova, D.M. Nasirova, V.O. Kurmangaliyeva, Sh.I. Khamraev DISTRIBUTION OF PRESSURE AND TEMPERATURE IN NEUTRON STARS: NUMERICAL ANALYSIS.....	11
A. Dalelkhankyzy, G. Baimbetova, N. Koilyk, S. Toktarbay, A. Beisebayeva QUASISPIN FORMALISM OF INTERACTION BETWEEN BOSONS AND ITS APPLICATION IN NUCLEAR THEORY.....	22
N.K. Zhusupova, V.N. Zhumabekova, A.A. Zhadyranova DETERMINATION OF ANTINEUTRON-NUCLEAR SCATTERING AMPLITUDE.....	34
V. Mukamedenkyzy, B. Akberdiyev INVESTIGATION OF CONCENTRATION FIELDS IN BINARY GAS MIXTURES IN THE PRESENCE OF CONVECTIVE FLOWS.....	46
A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S.Sittykova, D. Kadyrova SEARCHING FOR INNER-EARTH ASTEROIDS.....	62
G.B. Suliyeva, M.A. Makukov, E.G. Mychelkin TWO TYPES OF SCALAR BACKGROUND VISUALIZATION.....	79
U.A. Ualikhanova, A.M. Konys, A.B. Altaibayeva, Zh.M. Beisekeyeva DYNAMICAL SYSTEMS ANALYSIS OF $f(R,T) = R + \beta T^m$ COSMOLOGY.....	94
Zh.S. Umbetova, U.U. Abdizhalilova DYNAMICS OF THE EVOLUTION OF ANISOTROPIC COMPACT STARS IN $f(\tau)$ TELEPARALLEL GRAVITY.....	105
L.I. Shestakova, R.R. Spassyyuk DESTRUCTION OF SMALL BODIES COMPOSED OF SILICATES BY THERMAL STRESSES.THERMAL EMISSION OF DISRUPTION PRODUCTS.....	121
S.A. Shomshekova, L.K. Kondratyeva, I.V. Reva, L. Aktay, V.Y. Kim STUDIES OF THE MRK 766 GALAXY IN THE OPTICAL RANGE.....	138

CHEMISTRY

D.T. Altynbekova, B.K. Massalimova, B.E. Begenova, A. Darmenbayeva, M.D. Akanova SYNTHESIS AND STUDY OF PROTON CONDUCTIVITY OF NANOCOMPOSITES BASED ON COMPLEX OXIDES (LaNbO ₄) AND ALLOYS (NiCoOx, CuCoOx, NiCuOx).....	152
--	-----

D.Zh. Amantayeva, M.A. Dyusebayeva, B.K. Kopzhassarov, A.E. Berganayeva, G.E. Berganayeva PHYTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF ULMUS PUMILA LEAVE.....	164
A. Assanov, S.A. Mameshova, G.S. Tatykhanova, T.A. Savitskaya CHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS OF KAZAKHSTAN CLAYS AND STUDY OF THEIR HYDRODISPERSIVE PROPERTIES.....	182
G.S. Akhmetova, U.B. Issayeva, K.D. Praliyev, M.T. Omyrzakov, T.M. Seilkhanov TECHNOLOGY OF PRODUCING 1-(2-ETHOXYETHYL)-4- ADAMANTANECARBONYLOXY-PIPERIDINE HYDROCHLORIDE AND STUDY OF ITS CYTOTOXICITY.....	206
G.Zh. Baisalova, G.K. Token, B.B. Torsykbaeva, A.D. Dukenbayeva, N. Rakhmetova STUDYING THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE PHRAGMITES COMMUNIS PLANT BY GAS CHROMATOGRAPHY–MASS–SPECTROMETRY.....	218
A. Yedilova, Z. Inelova, N. Kurbatova, B. Turalin PHYTOCHEMICAL STUDY OF MEDICINAL PLANT - HUMULUS LUPULUS L., FOR THE PURPOSE OF OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES.....	229
A. Kuandykova, B. Taimasov, E. Potapova, B. Zhakipbayev, N. Zhanikulov STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF CLINKERS OBTAINED FROM METALLURGICAL SLAG.....	242
X.A. Leontyeva, G.M. Khussurova, D.S. Puzikova, A.N. Nefedov, M. Zhurynov PERFORMANCE AND APPLICATION OF ORGANIC CORROSION INHIBITORS IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY OF THE CIS COUNTRIES. REVIEW.....	258
L.K. Orazzhanova, Zh.S. Kassymova, Zh.Zh. Nurtazina, D.K. Asserzhanov, K.K. Kabdulkarimova SYNTHESIS AND APPLICATION OF IRON NANOPARTICLES FOR THE PRODUCTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES CHLORELLA VULGARIS.....	275
B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova SOLID CARBON DIOXIDE ADSORBENT BASED ON ALKALI METAL CARBONATES WITH PROMOTER ADDITIVES.....	291

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

А.А. Ғазизова, Д.М. Насирова, В.О. Құрманғалиева, Ш.И. Хамраев. НЕЙТРОНДЫ ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ҚЫСЫМ МЕН ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ТАРАЛУЫНА САНДЫҚ ТАЛДАУ.....	11
А. Дәлелханқызы, Г. Баймбетова, Н. Қойлық, С. Тоқтарбай, А. Бейсебаева БОЗОНДАР АРАСЫНДАҒЫ ӨЗАРА ӘСЕРЛЕСУДІҢ КВОЗИСПИНДІК ФОРМАЛИЗМІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЯДРОЛЫҚ ТЕОРИЯДАҒЫ ҚОЛДАНЫЛУЫ.....	22
Н.К. Жусупова, В.Н. Жумабекова, А.А. Жадыранова АНТИНЕЙТРОНДАРДЫҢ ЯДРОДАН ШАШЫРАУ АМПЛИТУДАСЫН АНЫҚТАУ.....	34
В. Мукамеденқызы, Б. Ақбердиев КОНВЕКТИВТІ АҒЫНДАР КЕЗІНДЕ БИНАРЛЫ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ ӨРІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ.....	46
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова ІШКІ ЖЕР ОРБИТАСЫНДА АСТЕРОИДТАРДЫ ІЗДЕУ.....	62
Г.Б. Сулиева, М.А. Макуков, Э.Г. Мычелкин СКАЛЯРЛЫ ФОННЫҢ ЕКІ ТҮРЛІ ВИЗУАЛИЗАЦИЯСЫ.....	79
У.А. Уалиханова, А.М. Қоныс, А.Б. Алтайбаева, Ж.М. Бейсекеева $f(R, T) = R + \beta T^m$ КОСМОЛОГИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ТАЛДАУЫ.....	94
Ж.С. Умбетова, У.У. Абдижалилова $f(\tau)$ -ТЕЛЕПАРАЛЛЕЛЬ ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ АНИЗОТРОПТЫ КОМПАКТТЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ.....	105
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк СИЛИКАТТЫ ҚҰРАМДЫ ШАҒЫН ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ КЕРНЕУЛЕРДЕН БҰЗЫЛУЫ. БӨЛШЕКТЕНУ НӘТИЖЕСІНДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН ӨНІМДЕРДІҢ ЖЫЛУЛЫҚ ЭМИССИЯСЫ.....	121
С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.В. Рева, Л. Актай, В.Ю. Ким MRK 766 ГАЛАКТИКАСЫН ОПТИКАЛЫҚ ДИАПАЗОНДА ЗЕРТТЕУ.....	138

ХИМИЯ

- Д.Т. Алтынбекова, Б.К. Масалимова, Б.Е. Бегенова, А. Дарменбаева, М.Д. Аканова**
 КҮРДЕЛІ ОКСИДЕР (LaNbO_4) МЕН ҚҰЙМАЛАРДЫҢ (NiCoO_x , CuCoO_x , NiCuO_x)
 НЕГІЗІНДЕГІ НАНОКОМПОЗИТТЕРДІ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ
 ПРОТОНӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ.....152
- Д.Ж. Амантаева, М.А. Дюсебаева, Б.К. Копжасаров, А.Е. Берганаева, Г.Е. Берганаева**
 ULMUS PUMILA ЖАПЫРАҚТАРЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ
 ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ.....164
- А. Асанов, С.А. Мамешова, Г.С. Татыханова, Т.А. Савицкая**
 ҚАЗАҚСТАН САЗДАРЫНЫҢ ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ
 ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ГИДРОДИСПЕРСИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....182
- Г.С. Ахметова, Ұ.Б. Исаева, Қ.Ж. Пірәлиев, М.Т. Омырзаков, Т.М. Сейлханов**
 1-(2-ЭТОКСИЭТИЛ)-4-АДАМАНТАНКАРБОНИЛОКСИ-ПИПЕРИДИН
 ГИДРОХЛОРИДІН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЦИТОУЫТТЫЛЫҚ
 ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....206
- Г.Ж. Байсалова, Г.Қ. Төкен, Б.Б. Торсыкбаева, А.Д. Дукенбаева, Н. Рахметова**
 ГАЗ ХРОМАТОГРАФИЯ–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИЯ ӘДІСІМЕН PHRAGMITES
 COMMUNIS ӨСІМДІГІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ.....218
- А. Едилова, З. Инелова, Н. Күрбатова, Б. Туралин**
 ДӘРІЛІК HUMULUS LUPULUS L. ӨСІМДІГІНЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ
 ЗАТТАРДЫ АЛУ МАҚСАТЫНДАҒЫ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....229
- А. Қуандыкова, Б. Таймасов, Е. Потапова, Б. Жакипбаев, Н. Жаникулов**
 МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ШЛАКТАРДАН АЛЫНАТЫН КЛИНКЕРЛЕРДІҢ
 МИКРОҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ.....242
- К.А. Леонтьева, Г.М. Хусурова, Д.С. Пузикова, А.Н. Нефедов, М. Жұрынов**
 ТМД ЕЛДЕРІНІҢ МҰНАЙ-ХИМИЯ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ КОРРОЗИЯҒА ҚАРСЫ
 ОРГАНИКАЛЫҚ ИНГИБИТОРЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ ЖӘНЕ
 ҚОЛДАНЫЛУЫ. ШОЛУ.....258
- Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касымова, Ж.Ж. Нуртазина, Д.Қ. Әсержанов,**
К.К. Кабдулкаримова
 CHLORELLA VULGARIS БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫН АЛУ
 ҮШІН ТЕМІР НАНОБӨЛШЕКТЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ.....275
- Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова**
 ПРОМОУТЕРЛІК ҚОСПАЛАРЫ БАР СІЛТІЛІ МЕТАЛЛ КАРБОНАТТАРЫНА
 НЕГІЗДЕЛГЕН КӨМІРҚЫШҚЫЛ ГАЗЫНЫҢ ҚАТТЫ АДСОРБЕНТІ.....291

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

А.А. Газизова, Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, Ш.И. Хамраев РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗДАХ: ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ.....	11
А. Далелханкызы, Г. Баймбетова, Н. Койлык, С. Токтарбай, А. Бейсебаева КВАЗИСПИНОВЫЙ ФОРМАЛИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЯДЕРНОЙ ТЕОРИИ.....	22
Н.К. Жусупова, В.Н. Жумабекова, А.А. Жадыранова ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДЫ АНТИНЕЙТРОН-ЯДЕРНОГО РАССЕЯНИЯ.....	34
В. Мукамеденкызы, Б. Акбердиев ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В БИНАРНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ ПРИ НАЛИЧИИ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ.....	46
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова ПОИСК АСТЕРОИДОВ ВНУТРИ ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ.....	62
Г.Б. Сулиева, М.А. Макуков, Э.Г. Мычелкин ДВА ТИПА ВИЗУАЛИЗАЦИИ СКАЛЯРНОГО ФОНА.....	79
У.А. Уалиханова, А.М. Коныс, А.Б. Алтайбаева, Ж.М. Бейсекеева АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ $f(R,T) = R + \beta T^m$ КОСМОЛОГИИ.....	94
Ж.С. Умбетова, У.У. Абдижалилова ДИНАМИКА ЭВОЛЮЦИИ АНИЗОТРОПНЫХ КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗД В $f(\tau)$ -ТЕЛЕПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ГРАВИТАЦИИ.....	105
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк РАЗРУШЕНИЕ МАЛЫХ СИЛИКАТНЫХ ТЕЛ ТЕПЛОВЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ. ТЕПЛОВАЯ ЭМИССИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ.....	121
С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.В. Рева, Л. Актай, В.Ю. Ким ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИКИ MRK 766 В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ.....	138

ХИМИЯ

Д.Т. Алтынбекова, Б.К. Масалимова, Б.Е. Бегенова, А. Дарменбаева, М.Д. Аканова СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ (LaNbO_4) И СПЛАВОВ (NiCoO_x , CuCoO_x , NiCuO_x).....	152
---	-----

Д.Ж. Амантаева, М.А. Дюсебаева, Б.К. Копжасаров, А.Е. Берганаева, Г.Е. Берганаева ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТЬЕВ ULMUS PUMILA.....	164
А. Асанов, С.А. Мамешова, Г.С. Татыханова, Т.А. Савицкая ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЛИН КАЗАХСТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИХ ГИДРОДИСПЕРСИЙ.....	182
Г.С. Ахметова, Ұ.Б. Исаева, Қ.Ж. Пралиев, М.Т. Омырзаков, Т.М. Сейлханов ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОХЛОРИДА 1-(2-ЭТОКСИЭТИЛ)-4- АДАМАНТАНКАРБОНИЛОКСИ-ПИПЕРИДИНА И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ЦИТОТОКСИЧНОСТИ.....	206
Г.Ж. Байсалова, Г.К. Токен, Б.Б. Торсыкбаева, А.Д. Дукенбаева, Н. Рахметова ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЯ RHAGMITES COMMUNIS МЕТОДОМ ГАЗ ХРОМАТОГРАФИИ–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИИ.....	218
А. Едилова, З. Инелова, Н. Курбатова, Б. Туралин ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ – HUMULUS LUPULUS L. С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	229
А. Куандыкова, Б. Таймасов, Е. Потапова, Б. Жакипбаев, Н. Жаникулов ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ КЛИНКЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ.....	242
К.А. Леонтьева, Г.М. Хусурова, Д.С. Пузикова, А.Н. Нефедов, М. Журинов ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРАН СНГ. ОБЗОР.....	258
Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касымова, Ж.Ж. Нуртазина, Д.К. Асержанов, К.К. Кабдулкаримова СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ CHLORELLA VULGARIS.....	275
Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова ТВЁРДЫЙ АДсорбЕНТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ КАРБОНАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРОМОТИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ.....	291

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227

Volume 2. Number 354 (2025), 62–78

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.344>

УДК 629.78.075.001.14; 629.78:001.891

ГПНТИ 89.17.15

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

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;

²Te Punaha Atea - Space Institute, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

SEARCHING FOR INNER-EARTH ASTEROIDS

Serebryanskiy A.V. — 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 Ch.B. — 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, cahn210@aucklanduni.ac.nz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6325-0213>.

Omarov Ch.T. — Professor, PhD, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan,

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

Sittykova S. — engineer, Fesenkov Astrophysical Institute. Almaty, Kazakhstan,

E-mail: sofiasittykova@gmail.com;

Kadyrova D. — engineer, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: kadyrova.daiana@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>, WoS Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/IZQ-0275-2023>.

Abstract. This paper examines the current state of knowledge about potentially hazardous asteroids (PHAs) located in orbits closer to the Sun than Earth's orbit. The recent discovery of relatively large bodies in these orbits, which pose a significant collision risk to Earth, has increased the focus on these asteroids. Additionally, events like the Chelyabinsk meteor highlight the limitations in our understanding of the number of objects in these inner orbits. Detecting these objects using ground-based observatories or low-Earth orbit telescopes is challenging, making high-orbit telescopes a promising solution. This study investigates the feasibility of missions using infrared telescopes with apertures under 50 cm, taking into account technical capabilities, risks, and other factors. Preliminary calculations for asteroid detection using an orbiting telescope have been performed for asteroid diameters ranging from 50 meters (similar to the Chelyabinsk meteor) to 1 km (with 98% of larger objects already cataloged). Based on an analysis of system effectiveness for detecting potentially hazardous asteroids approaching from the direction of the Sun, the paper recommends that the concept for the Kazakhstan cislunar telescope should include a telescope with a 20-25 cm aperture,



capable of operating in both visible and infrared (4-6 microns) wavelengths. Such a telescope could provide valuable early warning for objects larger than 150 meters at a distance of less than 750,000 km.

Keywords: potentially hazardous asteroids, inner-Earth orbits, asteroid detection, infrared telescopes, space-based observations

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

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

²Te Punaha Atea – Ғарыш институты, Окленд университеті, Окленд,

Жаңа Зеландия.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

ІШКІ ЖЕР ОРБИТАСЫНДА АСТЕРОИДТАРДЫ ІЗДЕУ

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

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

Ч.Б. Акниязов — PhD докторанты, Жасанды Жер серіктерін және ақпараттық жүйелерді бақылау зертханасының меңгеруші міндетін атқарушы, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика 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>;

Ч.Т. Омаров — профессор, PhD, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан,

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

С. Ситтыкова — инженер, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sofiasittykova@gmail.com;

Д. Кадырова — инженер, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: kadyrova.daiana@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>.

Аннотация. Бұл жұмыста Жердің орбитасына қатысты ішкі орбиталарда орналасқан ықтимал қауіпті астероидтар туралы хабардар болудың қазіргі жағдайына талдау жасалады. Жермен соқтығысуға айтарлықтай қауіп төндіретін өте үлкен денелердің осы орбиталарда табылуына байланысты, астероидтарға назар соңғы уақытта өсті. Сонымен қатар, Челябинск суперболиді сияқты оқиғалар да ішкі орбиталардағы объектілер саны туралы толық біліміміздің болмауының салдары болып есептеледі. Бұл объектілерді жердегі обсерваториялар мен төменгі жерге жақын орбиталарындағы телескоптардан табу айтарлықтай қиын болғандықтан, бұл мәселені шешу жоғары орбиталық телескоптарды пайдалану аясында тиімді көрінеді. Бұл жұмыста техникалық мүмкіндіктерді, тиісті тәуекелдерді және басқа да бірқатар факторларды ескере отырып, апертурасы 50 см-ден кіші телескоптармен ИҚ аймақта миссияларды іске асыру мүмкіндігі қарастырылады. 50 метрден 1 км-ге дейінгі аймақтағы (шамамен Челябински метеоритінің класына жататын объектілер) астероидтың диаметрінің мәндері үшін

орбитальк телескоппен астероидты аныктаудың алдын-ала есептеулері жүргізілді (қазіргі уақытта олардың популяциясының 98%-на дейін үлкен объектілері белгілі). Күнгей жағынан ықтимал қауіпті астероидтарды анықтау міндеті үшін жүйенің тиімділігіне жүргізілген талдау нәтижелеріне сүйене отырып, қазақстандық айға жақын орбитадағы телескоп тұжырымдамасы үшін көрінетін диапазонда және 4-6 мкм ИҚ диапазонында жұмыс істейтін апертурасы 20-25 см болатын телескопты әзірлеудің орындылығы туралы қорытынды жасалды. Мұндай кіші апертуралы телескоп "ескерту" режимінде жұмыс істегенде, объектінің аппараттан 750 000 км-ден аз қашықтықта өлшемі 150 метрден асатын объектілерді анықтау кезінде пайдалы болады.

Түйін сөздер: ықтимал қауіпті астероидтар, ішкі орбиталар, астероидтарды іздеу, инфрақызыл телескоптар, ғарыштық бақылаулар

© 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

ПОИСК АСТЕРОИДОВ ВНУТРИ ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ

А.В. Серебрянский — 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>;

Ч.Б. Акниязов — 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>;

Ч.Т. Омаров — профессор, PhD, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, E-mail: chingis.omarov@fai.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>;

С. Ситтыкова — инженер, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, E-mail: sofiasittykova@gmail.com.

Д. Кадырова — инженер, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, E-mail: kadyrova.daiana@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3821-742X>.

Аннотация. В работе приводится анализ современного состояния осведомлённости о потенциально опасных астероидах, находящихся на орбитах, внутренних по отношению к орбите Земли. В последнее время внимание к этим объектам возросло в связи с обнаружением на таких орбитах довольно крупных тел, которые могут представлять серьёзную угрозу столкновения с Землёй. Кроме того, такие события, как Челябинский суперболид, указывают на неполноту существующих данных о числе объектов на внутренних орбитах. Поскольку их обнаружение затруднено с помощью наземных обсерваторий и телескопов на низких околоземных орбитах, решение данной задачи предполагается за счёт использования высокоорбитальных телескопов. В статье рассматривается

возможность реализации миссий с телескопом апертурой менее 50 см в инфракрасном диапазоне с учётом технических возможностей, рисков и других сопутствующих факторов. Проведены предварительные расчёты способности орбитального телескопа обнаруживать астероиды диаметром от 50 м (примерно соответствующих классу объектов Челябинского метеорита) до 1 км (более крупные объекты в настоящее время известны примерно на 98 %). На основе анализа эффективности системы обнаружения потенциально опасных астероидов с подсолнечной стороны сделан вывод о целесообразности разработки для концепции казахстанского окололунного аппарата телескопа с апертурой 20–25 см, работающего в видимом диапазоне и инфракрасном диапазоне 4–6 мкм. Такой телескоп может быть использован в режиме предупреждения для обнаружения объектов размером более 150 м на расстоянии менее 750 000 км от аппарата.

Ключевые слова: потенциально опасные астероиды, внутренние орбиты, обнаружение астероидов, инфракрасные телескопы, космические наблюдения

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

Введение. Задача обнаружения и изучения потенциально опасных астероидов (РНА, Potentially Hazard Asteroids) представляет не только интерес для фундаментальной науки, но важна и с точки зрения безопасности нашего существования. Этот вопрос дважды, в 2003 и 2017 годах, рассматривался Группой по Выработке Научного подхода к Объектам, Сближающихся с Землей Центра NASA по расчету орбит астероидов и комет, а также вероятности их столкновения с Землей (CNEOS) (Stokes, et al., 2003; Stokes, et al., 2017). В докладах CNEOS отмечалось, что имеющиеся модели населения потенциально опасных астероидов предсказывают наличие популяций, которые до сих пор нами не обнаружены. Некоторые из этих необнаруженных объектов могут столкнуться с Землей в течение следующего столетия, представляя потенциальную угрозу жизни людям и нанесения ущерба инфраструктуре.

В октябре 2024 года каталог MPC¹ содержал более 36,268 околоземных объектов. Большинство из этих объектов представляют собой астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ). При этом большая часть АСЗ наблюдалась впервые именно в момент их минимального расстояния от Земли. Из-за относительно небольшого размера, почти половина из обнаруженных АСЗ наблюдалась менее 7 дней, что не позволяет точно оценить их орбитальные характеристики и требует повторного обнаружения и идентификации. Для этих целей развиваются как наземные программы обнаружения АСЗ, так и соответствующие космические миссии. Эта задача приобрела значимую актуальность после того, как были проанализированы результаты миссии «Spaceguard» и сформулированы новые критерии опасности АСЗ (Stokes, et al., 2003; Stokes, et al., 2017). В частности, было принято решение,

¹ [Minor Planet Center](https://minorplanetcenter.org/).

что АСЗ диаметром более 140 м должны стать целью следующего поколения поисковых исследований, поскольку такие объекты, при столкновении с Землей, способны вызвать серьезные глобальные последствия. Уровень угрозы от падения астероида определяется энергетикой удара, которая, в свою очередь зависит от третьей степени диаметра АСЗ. По этой причине, цели для поисков опасных АСЗ, прописанные в государственных законодательных актах² и доктринах миссий³ определяются именно размером астероидов. Астероид диаметром 140 метров приведет к взрыву с эквивалентной энергией равной примерно 200 мегатонн тротила (Mainzer, et al., 2023). При этом общее число АСЗ диаметром от 140 метров и больше оценивается приблизительно в 25,000. Количество АСЗ, способных достичь поверхности Земли, не сгорая полностью в ее атмосфере (около 50 метров в диаметре для неметаллических объектов), оценивается примерно в полмиллиона с частотой столкновений примерно один раз в тысячу лет (Stokes, et al., 2017). Очевидно, что обнаружение всех этих потенциально опасных объектов не позволит устранить опасность столкновения с ними, но даст нам явное преимущество в виде осведомленности о возможности таких событий в краткосрочной и долгосрочной перспективе. При этом ставится задача увеличить время оповещения о потенциально опасном астероиде с нескольких часов до нескольких дней — минимальное необходимое время реагирования, по оценке агентств по борьбе со стихийными бедствиями (Boslough, et al., 2015).

Результаты статистического анализа показывают, что значительная часть пока еще не обнаруженных АСЗ, вероятнее всего, относится к классу астероидов, орбиты которых лежат внутри орбиты Земли. Это, в частности, астероиды класса Атон и Атира. Атоны имеют большую полуось < 1 а.е. и расстояние в афелии $Q > 0,983$ а.е. (Grav, et al., 2023). В настоящее время известно ~1500 таких объектов и, скорее всего, общее число объектов с диаметром более 100 метров в 10 раз больше. Таким образом общее количество опасных АСЗ на внутренних орбитах может исчисляться десятками тысяч. (Wallace B. et al., 2014). В обобщенном каталоге астероидов MPC класс Аполлонов составляет около 51,2%; около 40,8% каталогизированных MPC АСЗ относятся к классу Аморов, а около 7,8% — к классу Атонов (Grav, et al., 2023; Sheppard, et al., 2022). При этом темпы обнаружения внутренних астероидов значительно уступают темпам обнаружения АСЗ из других семейств.

Такое положение дел определяется в основном труднодоступностью этих объектов для наблюдений, особенно, с поверхности Земли или околоземных орбит (de La Fuente Marcos, et al., 2014). Тем временем этот класс астероидов может содержать объекты крупнее Челябинского супербоида, показавшего в 2013 году весь потенциал возможных угроз от таких объектов (Sheppard, et al., 2022) (см. Рисунок 1).

² H. Rept. 109-158 - GEORGE E. BROWN, JR. NEAR-EARTH OBJECT SURVEY ACT | Congress.gov

³ [NEO Search & Follow-Up](#) | [The Spaceguard Centre](#)

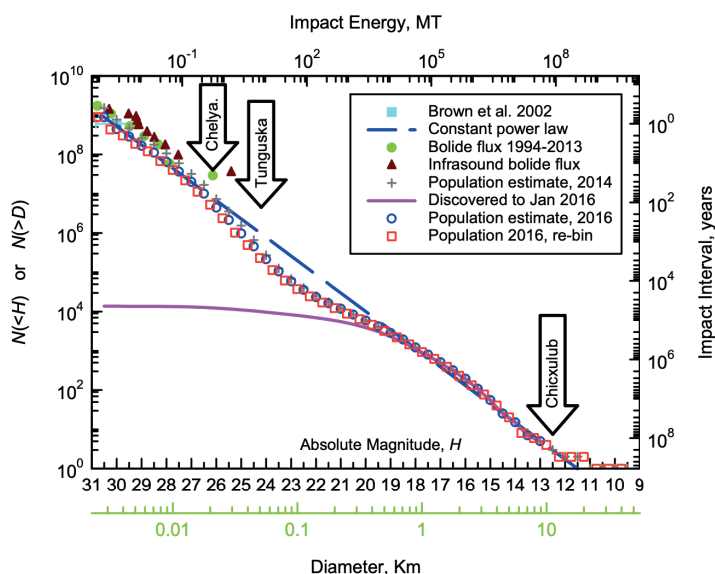


Рисунок 1 - Зависимость количества астероидов (N) от диаметра (Diameter), абсолютной звездной величины (H), частоты падений (Impact Interval) и выделяемой энергии при ударе (Impact Energy), из работы (Stokes, et al., 2017) Figure 2-B-2.

При этом очень важно понимать динамику таких тел как Челябинский суперболид и источник их происхождения. Для Челябинского объекта ее удалось проследить с достаточной высокой достоверностью и выяснить, что его родительским телом был астероид с орбитальным резонансом 3:1 с Юпитером (de La Fuente Marcos, et al., 2014). Одним из следствий такой динамики является то, что, оказавшись в неблагоприятном для наблюдения с Земли положении (близость Солнца в поле наблюдения, большая воздушная масса) во время своего сближения, объект может так и оставаться невидимым для нас в течение десятилетий. В этом случае единственным способом обнаружения такого объекта будут космические наблюдения (de La Fuente Marcos, et al., 2014). В рамках разрабатываемой в Казахстане концепции околосолнечного аппарата одной из задач предлагается разработка методологии наблюдений и концепции телескопа для обнаружения таких АСЗ.

Обзор разрабатываемых и существующих миссий, постановка задачи.

Принимая во внимание технические возможности, соответствующие риски и ряд других сопутствующих факторов, в данной работе мы рассматриваем реализацию миссий с телескопом апертурой менее 50 см. Кроме того, мы рассматриваем реализацию, при которой будет использоваться инфракрасный (ИК) диапазон. Этот выбор продиктован тем фактом, что такая система обладает преимуществами по сравнению с системами видимого диапазона, включая более высокую чувствительность при обнаружении астероидов. Следует также отметить, что проведение наблюдений в ИК диапазоне наземными средствами фактически невозможно из-за влияния атмосферы и, следовательно, космические

ИК наблюдения могут являться существенным дополнением оптическим наблюдениям с обсерваторий на Земле. Однако за преимущества наблюдений в инфракрасном диапазоне приходится платить усложнением системы, связанным с охлаждением телескопа и приемного оборудования.

Космические инфракрасные телескопы, помимо хорошо известных инструментов больших миссий, таких как James Webb Space Telescope (JWST) — орбитальная инфракрасная обсерватория, также широко используются для обнаружения и определения характеристик малых тел солнечной системы (Mainzer, et al., 2015). Этому в первую очередь способствовало развитие технологий в изготовлении новых ИК-детекторов, которые за последние два десятилетия прошли путь от небольших лабораторных приемников размером несколько десятков элементов до цельнокристаллических матриц размером 1024 x 1024. Это позволило на несколько порядков повысить эффективность ИК-систем для поиска АСЗ. Длина волны, на которой излучение тела максимально, зависит от гелиоцентрического расстояния объекта и его термодинамических характеристик. Для большинства малых тел солнечной системы, орбиты которых лежат ближе орбиты Сатурна, их максимальное тепловое излучение лежит приблизительно в диапазоне длины волны от 4 мкм до 20 мкм. Длина волны больше ~4 мкм характерна для астероидов, орбиты которых лежат в пределах ~4 а.е. (1 а.е. ≈ 150 млн. км), на более коротких длинах волн регистрируется как тепловое излучение, так и отраженный солнечный свет. Однако, последний факт может не играть существенной роли при наблюдении астероидов внутренних к орбите Земли, поскольку они наблюдаются обычно при большом фазовом угле. Кроме того, излучение АСЗ в ИК диапазоне почти не зависит от альбеда астероида (см. Figure 2 в Mainzer, et al., 2015), что очень важно для их эффективного обнаружения.

Благодаря развитию радиометрического моделирования наблюдения в ИК диапазоне могут быть использованы для определения физических параметров объектов, таких, например, как эффективный сферический диаметр. Определение диаметра АСЗ при независимости от альбеда для разных астероидов позволит напрямую строить зависимости количества объектов от их размера и орбитальных параметров (Mainzer, et al., 2015). Наблюдения в ИК диапазоне могут быть также использованы в определении тепловой инерции астероидов, которая является ключевой характеристикой для понимания природы реголита астероидов. При наличии спектральных данных в ИК диапазоне, можно изучать особенности эмиссии и поглощения поверхности астероидов в тех диапазонах, в которых это невозможно сделать с наземных обсерваторий (Mainzer, et al., 2015). В настоящее время существует несколько космических миссий, в задачи которых входит поиск внутренних АСЗ. Это в первую очередь такие проекты, как NEOSSat⁴ (Hildebrand, et al., 2004; Laurin, et al., 2008) и WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer)/NEOWISE (Near-Earth Object WISE) (Mainzer, et al., 2011a; Mainzer, et al., 2011b). Проект WISE был проектом НАСА, запущенным в 2009 году на низкую околоземную орбиту для поисковых миссий в ИК диапазоне на длинах

⁴ NEOSSat -The Near Earth Object Space Surveillance Satellite

волн 3.4, 4.6, 12 и 22 мкм с телескопом апертурой 40 см. В 2013 году проект продолжил свою работу уже в качестве инструмента NEOWISE для исследований объектов в околоземном пространстве. Среди разрабатываемых концепций стоит упомянуть такие как NEO Surveyor (NEOS⁵) (Mainzer, et al., 2023). Миссия NEOS — это космический телескоп, предназначенный для поиска, каталогизации и исследования потенциально опасных объектов, включая объекты с низким альбедо, а также долго- и короткопериодические кометы. Аппарат включает в себя 50-см телескоп инфракрасного диапазона, работающий в двух каналах, в которых преобладает тепловое инфракрасное излучение типичных околоземных объектов, с эффективной температурой от 200 до 300 К на протяжении большей части своих орбит.

Wang, et al. (2022) предложили концепцию использования нескольких аппаратов, движущихся впереди Земли по ее орбите, что должно значительно повысить эффективность обнаружения объектов вблизи Солнца, а также обеспечить непрерывное наблюдение соответствующей области. В концепции, в том числе, ставится задача обнаружения АСЗ диаметром 25–50 м.

Материалы и методы исследований. По результатам миссии NEOSSat был представлен список предложений по будущим орбитальным платформам, которые необходимо учитывать в разрабатываемой концепции окололунного аппарата. Во-первых, это контроль температуры приемного оборудования и фокальной плоскости телескопа. Во-вторых, это наличие дополнительного резервирования аппаратного обеспечения для минимизации последствий сбоев на орбите. В-третьих, это наличие датчиков грубого позиционирования (датчик солнца, звездные датчики) и двух вариантов десатурации, обеспечивая уровень резервирования системы позиционирования. В-четвертых, необходимость усовершенствовать программное обеспечение для автоматизированной обработки данных. Stokes, et al. (2017) рассмотрели несколько вариантов космического телескопа для обнаружения АСЗ и, в частности ИК телескоп с апертурой 20 см, находящийся на геостационарной орбите и телескоп апертурой 50 см в точке Лагранжа L1 (Земля - Солнце).

В качестве оптической системы для телескопов апертурой 50 см и 20 см рассматривается трех-зеркальный анастигмат, дающий большое поле зрения при минимальной дисторсии. Для рассматриваемой нами системы небольшой апертуры это выгодная оптическая схема, так как не имеет экранирования. В работе отмечается, что вся система может быть собрана в цельно-алюминиевой конфигурации, что должно значительно снизить зависимость от коэффициента температурного расширения. Предполагаемое поле зрения системы ~12 кв. градусов при использовании приемника 4000x 4000 с масштабом 3 уг.сек/пиксель. В качестве детектора предлагается решение на базе матрицы HgCdTe (теллурид кадмия-ртути). Детектор работает в диапазоне от ~0.4 мкм до 10 мкм. В интересующем нас диапазоне между 3 мкм и 5 мкм (средний ИК) темновой ток для >90% пикселей ~0.01 е-/сек при температуре ~50 К и ~0.3 е-/сек при температуре

⁵ [NEO Surveyor - NASA Science](#)

~75 К. Для ИК диапазона от 5 мкм до 10 мкм темновой шум может достигать значений <200 е-/сек при температуре 40 К. Детекторы на базе теллурида кадмия-ртути использовались на нескольких космических аппаратах. Например, матрица HgCdTe размером 1024x 1024 для области среднего ИК использовалась в миссии WISE в двух каналах на 3.4 мкм и 4.6 мкм. Камеры с чипом HgCdTe размером 2048x 2048 используются для двух инструментов телескопа JWS (Near-Infrared Spectrometer, Near-Infrared Camera). Еще одно возможное решение предлагает компания Teledyne⁶ - детектор HAWAII-2RG⁷ и контроллер SIDECAR ASIC⁸.

Для поддержания температур на уровне ~75 К требуется система охлаждения. Из-за сильных ограничений по полезной нагрузке (как по массе, так и по габаритам) решения с дьюарами для жидкого гелия и жидкого азота не представляются возможными. Для цели охлаждения в нашем случае следует выбрать криоохладители с импульсной трубкой⁹. У таких охладителей довольно хорошая износостойкость, есть защита от вибраций. Однако окончательное решение требует дополнительных исследований в этой области и поиска доступных на рынке решений.

Некоторые решения для разрабатываемой концепции могут быть заимствованы у проекта NEOSSat¹⁰. При весе 72 кг и размерах 0.9x0.3x0.6 метра полезной нагрузкой NEOSSat является оптический телескоп Максутова с 15-сантиметровой апертурой и полем зрения 0.85x0.85 градусов. Телескоп оснащен двумя ПЗС камерами E2V размером 1024x 1024 пикселей с масштабом 3 уг.сек./пиксель. Одна ПЗС-матрица (E2V 47-20 AIMO CCD¹⁰) используется для научных данных, а вторая — для специализированного звездного датчика, установленного параллельно оптической оси телескопа. Этот специальный звездный датчик, работая автономно с бортовым звездным каталогом, содержащим 2 миллиона звезд вплоть до 14-й визуальной звездной величины, обеспечивает высокоточное наведение на объект и точное отслеживание быстро движущихся объектов (Abbasi, et al., 2019). При благоприятных условиях наблюдений (правильное планирование, корректная обработка данных) ожидается, что телескоп может обнаруживать объекты до 19 звездной величины при экспозиции около 100 секунд.

Результаты и анализ. Для оценки эффективности телескопа и обоснованности выбора орбит аппарата, необходимо получить предварительные оценки возможности обнаружения объектов при разных конфигурациях оборудования, расположения объекта относительно наблюдателя и ряда дополнительных параметров.

Наиболее важным параметром при поиске потенциально опасных астероидов является их диаметр, поскольку энергетика столкновения астероида с Землей зависит в первую очередь от его размера. Для оптических наблюдений размер астероида можно оценить по значению абсолютной звездной величины H и значения геометрического альбедо, p_v :

⁶ [Infrared and Visible FPAs](#)

⁷ [Teledyne Imaging Sensors H2RG™ Visible & Infrared Focal Plane Array](#)

⁸ [SIDECAR™ ASIC](#)

⁹ [Pulse Tube Cryocoolers \(2003\)](#)

¹⁰ [CCD47-20 Back Illuminated AIMO Frame-Transfer High Performance CCD Sensor](#)

$$D \text{ (km)} = 10^{(3.1236 - 0.5 \lg(p_v) - 0.2H)}$$

Абсолютная звездная величина астероида связана с наблюдаемой звездной величиной выражением:

$$m = H + 5 \lg \left(\frac{d_{BS} d_{BO}}{d_0^2} \right) - 2.5 \lg q(\alpha)$$

где d_{BS} – расстояние астероида от Солнца, d_{BO} – расстояние наблюдателя от астероида, d_0 – среднее расстояние Земли от Солнца (1 а.е.). Величина $q(\alpha)$ называется фазовым интегралом и зависит от фазового угла, под которым наблюдается астероид. Его можно получить из следующих выражений:

$$q(\alpha) = (1 - G)\phi_1(\alpha) + G\phi_2(\alpha)$$

$$\phi_i(\alpha) = \exp \left(-A_i (\tan \alpha / 2)^{B_i} \right)$$

где $A_1 = 3.332$, $A_2 = 1.862$, $B_1 = 0.631$, $B_2 = 1.218$. Эти соотношения верны при фазовом угле менее 120° . Параметр G называется “наклоном” и отвечает за описание изменения яркости астероида, когда тот находится в оппозиции. Значение G лежит в широком диапазоне значений с медианным значением равным около 0.14 (см. Figure 2-6 в Stokes, et al., 2017). В наших расчетах на данном этапе мы принимаем его равным 0.14.

Еще одним важным аспектом является тот факт, что наблюдения планируется проводить в ИК диапазоне. Поскольку все вышеприведенные выражения привязаны к видимой части спектра (V – полоса пропускания по Джонсону), то такой параметр как p_v нужно пересчитать в p_{ir} . Значение этого параметра зависит от типа астероида (Mainzer, et al., 2011a; Mainzer A., Masiero, et al., 2012): для С-комплекса $p_{ir}/p_v \sim 1$, для S-комплекса, $p_{ir}/p_v \sim 1.7$, для D-типа $p_{ir}/p_v \sim 2.2$, для В-типа $p_{ir}/p_v = 1$. Кроме того, при работе в ИК диапазоне само влияние фазового угла может отличаться, поскольку в этом случае большую роль играют термодинамические параметры материала астероида, например его теплопроводность и теплоемкость, а также насколько быстро он вращается. Тем не менее для предварительной оценки эффективности телескопа и получения “консервативных” оценок, мы принимаем фазовый угол равным $\alpha = 100^\circ$ – достаточно большой для учета условий видимости и не превышающий критического значения 120° .

Расчеты выполнены для значений диаметра астероида, $D(\text{km})$, в диапазоне от 50 метров (приблизительно класс объектов Челябинского метеорита) до 1 км (более крупные объекты в настоящее время известны до 98% от их популяции). Рассматриваются значения визуального геометрического альbedo от 0.05 до 0.30 с шагом 0.05. Расстояние астероида от Солнца, d_{BS} , принято равным 1 а.е., поскольку потенциально опасными являются объекты, подлетающие к Земле на расстояние порядка 7 млн. км., а это лишь 5% от расстояния Земля-Солнце,

d_0 . Для расстояний наблюдателя от астероида, d_{BO} , мы рассматриваем значения от 0.003 а.е. до 0.02 а.е. Минимальное расстояние в 0.005 а.е. продиктовано тем фактом, что оно соответствует приблизительно 750 тыс. км., то есть двойному расстоянию Земля-Луна. Если аппарат будет находиться на окололунной орбите, то астероид будет находиться на расстоянии примерно в 380 тыс. км от Земли и при скорости астероида порядка 20 км/сек его подлетное время составит около 5 часов. И, последнее, мы рассматриваем телескоп с апертурой 20 см, для которого предельной звездной величиной, учитывая время экспозиции и возможность следить за объектом, будет порядка $m = 12$.

Ниже (Рисунок 2, (а)) показаны соответствующие результаты расчетов. Из рисунка видно, что в такой конфигурации мы сможем зарегистрировать астероиды размером порядка 200 метров и больше на расстоянии порядка 0.005 а.е. от Земли. Такие объекты, во-первых, малочисленны (из теории эволюции солнечной системы и статистического анализа событий), а во-вторых, современные наземные миссии и орбитальные телескопы скорее всего смогут увидеть эти объекты намного раньше. Высокой эффективности достигает телескоп с апертурой 20 см если он находится на одной из DRO орбит и расстояние между наблюдателем и объектом будет гораздо меньше (Рисунок 2, (б)). Еще одной альтернативой (возможность которой стоит проверить на предмет реализации платформы) является возможность долгих экспозиций при малых угловых скоростях наблюдаемых астероидов. Соответствующий результат показан на Рисунке 2, (в).

Эти расчеты выполнены из условия, что наблюдаемый объект представляет из себя точечный источник, что не совсем верно, поскольку АСЗ имеет некоторое видимое угловое движение относительно наблюдателя. По оценке значение этой угловой скорости может быть более 100 угловых секунд за 3600 секунд, что при 100 секундах экспозиции дает растягивание изображения астероида на ~ 3 угловые секунды. При масштабе порядка 3 угловых секунд на пиксель предположение о точности объекта все еще будет выполняться.

Более серьезной задачей является распознавание объектов в поле ПЗС кадра, обработка изображения и передача данных с борта аппарата для дальнейшего анализа. Следует отметить, что методы и сам процесс калибровки ПЗС изображений и идентификация источников в летном программном обеспечении с использованием ограниченных ресурсов обработки данных и хранения изображений для окололунных миссий, все еще находится на стадии теоретических разработок и не была полноценно опробована. Задачу передачи большого массива полученных данных (изображений) с борта аппарата частично можно было бы решить выделением на изображениях отдельных патчей, содержащих интересующие нас объекты. Такой подход применялся, например, в миссии «Кеплер». Однако объектами исследований миссии «Кеплер» были звезды – неподвижные объекты в поле, положение которых известно заранее с высокой точностью. В случае наблюдений за АСЗ, объекты движутся и их положение либо неизвестно, либо известно с более низкой точностью. Кроме того, как было сказано выше, ограниченный ресурс бортового компьютера космического

аппарата не позволяет использовать высокоэффективные алгоритмы обнаружения объектов, требующие анализа большого массива данных. Возможным решением этой задачи может быть адаптация NSDS (NEO Surveyor Survey Data System), которая была разработана в Science & Data Center for Astrophysics & Planetary Sciences¹¹. NSDS — это высокоавтоматизированная, высокопроизводительная аппаратная, программная и операционная система, оптимизированная для идентификации потенциальных движущихся объектов. Элементы NSDS тесно связаны с системами данных, разработанными и используемыми для WISE/NEOWISE и ZTF (Zwicky Transient Facility).

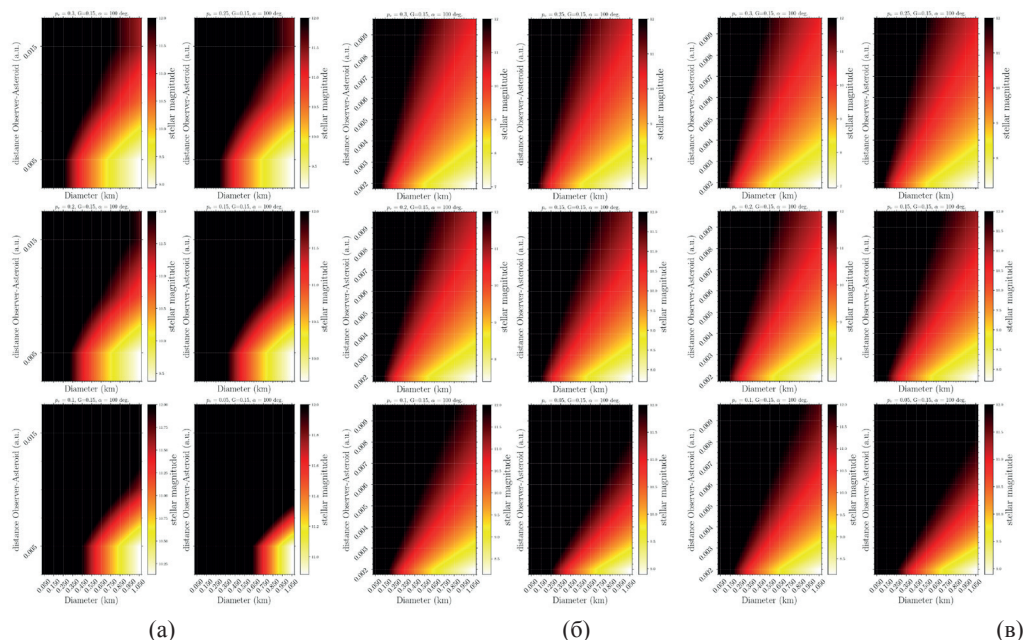


Рисунок 2 - Зависимость звездной величины астероида от его размеров и расстояния до наблюдателя (телескоп с апертурой 20 см) для разных значений геометрического альbedo астероида и фазового угла 100°

Одной из главных задач миссий по обнаружению АСЗ является оценка их опасности столкновения с Землей и космическими аппаратами, включая орбитальные станции и другие элементы окололунной инфраструктуры. Для этого необходимо уметь максимально оперативно определять орбиты обнаруживаемых АСЗ с последующим их уточнением и отождествлением объекта в имеющихся каталогах. Поскольку в нашем случае мы имеем дело с угловыми измерениями, то нас будут интересовать соответствующие алгоритмы, использующие угловые положения объектов, измеренные оптическими средствами мониторинга. Поскольку большинство АСЗ во внутренней области солнечной системы движутся по Кеплеровским орбитам, к ним могут быть применимы различные модификации

¹¹ [IPAC-Caltech](https://ipac.caltech.edu/)

метода Гаусса, вариационные методы (Mironov, et al., 2019), метод Гудинга (Gooding, 1993) и др. Для уверенной идентификации астероида необходимо иметь 3-4 трека его наблюдений. Желательно чтобы эти треки охватывали достаточную часть орбиты АСЗ. Для этого, при наблюдении определенной области и обнаружения в ней объекта, ее наблюдения повторно проводятся еще дважды на протяжении последующих примерно 20 дней. Полученные данные необходимо отождествить с одним и тем же объектом для построения трека и последующего определения по этому треку первоначальной орбиты объекта. Такая процедура уже отработана алгоритмами MPC (Minor Planet Center). При последующих наблюдениях в таком же режиме орбиты могут уточняться. Было отмечено, что если два трека, полученные с перерывом в 20 дней, можно согласовать между собой, то они могут быть использованы для оценки опасности столкновения и расчетов эфемерид на ближайшие даты даже без наличия третьего измерения. Орбиты, построенные по длине дуги порядка 20 дней достаточно точные для оценки опасности АСЗ даже на десятилетия вперед, особенно если эти орбиты получены на данных с хорошей астрометрической точностью.

Обсуждение и выводы. При планировании космических миссий в каждом конкретном случае рассматривается вопрос эффективности предложенного решения с использованием так называемого среднемирового значения VSL (Value of Statistical Life), учитывая, что столкновения с астероидом могут произойти в любой точке мира. В докладе 2017 года было предложено рассмотреть эффективность системы с точки зрения снижения неопределенности относительно риска для жизни, получения травм и нанесения ущерба имуществу или инфраструктуре в результате падения потенциально опасного астероида на Землю в течение 100-летнего периода. При этом эффективность системы обнаружения и мониторинга потенциально опасных астероидов складывается из двух главных аспектов:

1) снижение неопределенности в оценке вероятности столкновения с астероидом путем каталогизации тех из них, которые не представляют угрозы столкновения с Землей;

2) обнаружение и каталогизация тех астероидов, для которых столкновение с Землей наиболее вероятно, тем самым предоставляя возможность для своевременного принятия мер по смягчению последствий столкновения.

Проведенные исследования по оценке полноты каталогов опасных астероидов, полученных только на основе наблюдений в видимом свете, показали, что они имеют большую неопределенность по сравнению с каталогами, полученными с использованием ИК-измерений. При этом космические ИК-системы и совместные программы с использованием ИК диапазона и видимой области спектра, как правило, достигают цели быстрее, чем одна или несколько наземных систем в видимом диапазоне спектра, даже при наличии телескопов большой апертуры (см. Figure 8-6 в Stokes, et al., 2017).

ИК-системы имеют еще одно преимущество перед системами в видимом диапазоне – они позволяют значительно точнее определять диаметр обнаруженного

объекта (поскольку зависимость от альбедо минимальна) и, тем самым, давать более точную информацию по потенциальной угрозе от возможного столкновения этого объекта с Землей (см. Figure 9-3 в Stokes, et al., 2017).

Интерес представляет также результат оценки эффективности системы в зависимости от финансовых затрат на ее создание, поддержание и остаточной неопределенности в смысле потенциальных угроз от астероидов после 10 лет работы телескопов. Было показано (см. Figure 9-4 в Stokes, et al., 2017), что 20 см телескоп в ИК диапазоне, работающий на геостационарной орбите намного выгоднее наземных телескопов 2-х, 4-х и 8-и метрового класса!

В Таблице XXX приведено соответствующее отношение «прибыли» к «затратам» смоделированных систем, где видно, что телескоп с апертурой 20 см, работающий в ИК диапазоне конкурирует с точки зрения эффективности с наземными телескопами намного большего диаметра уже на второй год своей эксплуатации.

Таблица 1 - отношение выгоды к затратам (эффективность) для смоделированных систем поиска околоземных объектов, по результатам работы (Stokes, et al., 2017)

Система	2024 год	2025 год	2026 год	2027 год	2025 год
Наземный 2-м телескоп	2.0	5.1	8.9	13.1	17.7
Наземный 4-м телескоп	1.4	3.5	6.0	8.8	11.9
Наземный 4-м телескоп + ИК 20-см телескоп на ГСО	0.8	1.8	3.0	4.3	5.6
Наземный 8-м телескоп	0.7	1.9	3.3	4.8	6.4
ИК 20-см телескоп на ГСО	0.7	1.7	3.1	4.7	6.3

Основываясь на результатах проведенного анализа эффективности системы для задачи обнаружения потенциально опасных астероидов с подсолнечной стороны, мы считаем целесообразным для концепции казахстанского окололунного телескопа разрабатывать инструмент с апертурой 20-25 см, работающий в видимом диапазоне и в ИК диапазоне от 4-6 мкм. Телескоп такой апертуры будет полезен при работе в режиме “предупреждения” при детектировании объектов размером более 150 метров на расстоянии объекта от аппарата менее 750 000 км. Приведенные оценки стоит считать достаточно консервативными, поскольку не учитывают возможности длительных экспозиций. При этом эффективность системы для обнаружения объектов в непосредственной близости довольно высокая (порядка 50% для 50-метровых объектов) по сравнению даже с системой из наземного телескопа 4-метрового класса и аппарата в точке L1 с апертурой 50 см (порядка 60% для 50-метровых объектов). Детальное описание последовательности выполнения задачи, результаты тестовых исследований, включая более полный радиометрический анализ и результаты, полученные на искусственных данных, будут проведены после окончательного выбора параметров телескопа для окололунной миссии Казахстана.

Литература

Abbasi V., Thorsteinson S., Balam D., Rowe J., Laurin D., Scott R. L., Doyon M. (2019) The NEOSSat Experience: 5 years in the life of Canada's space surveillance telescope. 1st NEO and Debris Detection Conference ESA2019. — P.91. <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/neosst1/paper/494/NEOSST1-paper494.pdf>

de La Fuente Marcos C., de La Fuente Marcos R. (2014) Reconstructing the Chelyabinsk event: pre-impact orbital evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 443. — P.L39-L43 — DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/slu07>

Gooding R. H. (1993) A new procedure for orbit determination based on three lines of sight: Angles only. NASA STI/Recon Technical Report — 94. — P.21224. — url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993STIN...9421224G>

Grav T., Mainzer A.K., Masiero J.R., Dahlen D.W., Spahr T., Bottke W.F., Masci F.J. (2023) The NEO Surveyor Near-Earth Asteroid Known Object Model. *The Planetary Science Journal* — 4. — P. 228 — DOI: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad072e>

Hildebrand A.R., Carroll K.A., Tedesco E.F., Faber D.R., Cardinal R.D., Matthews J.M., Kuschnig R., Walker G.A.H., Gladman B., Pazder J., Brown P.G., Larson S.M., Worden S.P., Wallace B.J., Chodas P. W., Muinonen K., Cheng A. (2004) Advantages of Searching for Asteroids from Low Earth Orbit: the NEOSSat Mission. *Earth Moon and Planets* — 95. — P.33-40. — DOI: <https://doi.org/10.1007/s11038-005-9016-z>

Laurin D., Hildebrand A., Cardinal R., Harvey W., Tafazoli S. (2008) NEOSSat: a Canadian small space telescope for near Earth asteroid detection. *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter*. — 7010. — P.701013. — DOI: <https://doi.org/10.1117/12.789736>

Mainzer A.K., Masiero J.R., Abell P.A., Bauer J.M., Bottke W., Buratti B.J., Carey S.J., Cotto-Figueroa D., Cutri R.M., Dahlen D., Eisenhardt P.R.M., Fernandez Y.R., Furfaro R., Grav T., Hoffman T.L., Kelley M.S., Kim Y., Kirkpatrick J.D., Lawler C.R., Lilly E., Liu X., Marocco F., Marsh K.A., Masci F.J., McMurtry C.W., Pourrahmani M., Reinhard L., Ressler M. E., Satpathy A., Schambeau C.A., Sonnett S., Spahr T.B., Surace J.A., Vaquero M., Wright E.L., Zengilowski G.R. (2023) NEO Surveyor Mission Team The Near-Earth Object Surveyor Mission. *The Planetary Science Journal*. — 4. — P.224 — DOI: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad0468>

Mainzer A., Bauer J., Grav T., Masiero J., Cutri R. M., Dailey J., Eisenhardt P., McMillan R.S., Wright E., Walker R., Jedicke R., Spahr T., Tholen D., Alles R., Beck R., Brandenburg H., Conrow T., Evans T., Fowler J., Jarrett T., Marsh K., Masci F., McCallon H., Wheelock S., Wittman M., Wyatt P., DeBaun E., Elliott G., Elsbury D., Gautier T., Gomillion S., Leisawitz D., Maleszewski C., Micheli M., Wilkins A. (2011) Preliminary Results from NEOWISE: An Enhancement to the Wide-field Infrared Survey Explorer for Solar System Science. *The Astrophysical Journal*. — 731. — P.53 — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/731/1/53>

Mainzer A., Grav T., Bauer J., Masiero J., McMillan R.S., Cutri R.M., Walker R., Wright E., Eisenhardt P., Tholen D.J., Spahr T., Jedicke R., Denneau L., DeBaun E., Elsbury D., Gautier T., Gomillion S., Hand E., Mo W., Watkins J., Wilkins A., Bryngelson G.L., Del Pino Molina A., Desai S., Gómez Camus M., Hidalgo S.L., Konstantopoulos I., Larsen J.A., Maleszewski C., Malkan M.A., Mauduit J.-C., Mullan B.L., Olszewski E.W., Pforr J., Saro A., Scotti J.V., Wasserman L.H. (2011) NEOWISE Observations of Near-Earth Objects: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 743. — P.156. — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/743/2/156>

Mainzer A., Grav T., Masiero J., Hand E., Bauer J., Tholen D., McMillan R. S., Spahr T., Cutri R. M., Wright E., Watkins J., Mo W., Maleszewski C. (2011). NEOWISE Studies of Spectrophotometrically Classified Asteroids: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 741. — P.90, — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/741/2/90>

Mainzer A., Masiero J., Grav T., Bauer J., Tholen D. J., McMillan R. S., Wright E., Spahr T., Cutri R. M., Walker R., Mo W., Watkins J., Hand E., Maleszewski C. (2012). NEOWISE Studies of Asteroids with Sloan Photometry: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 745. — P.7 — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/745/1/7>

Mainzer A., Usui F., Trilling D. E. (2015). Space-Based Thermal Infrared Studies of Asteroids. *Asteroids IV*, — 89-106. — DOI: https://doi.org/10.2458/azu_uapress_9780816532131-ch005

Mark Boslough, Barbara Jennings, Brad Carvey, William Fogleman (2015). FEMA Asteroid Impact Tabletop Exercise Simulations. *Procedia Engineering*. — 103. — P.43-51. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.007>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815006815>

Sheppard S.S., Tholen D. J., Pokorný P., Micheli M., Dell'Antonio I., Fu S., Trujillo C.A., Beaton R., Carlsten S., Drlica-Wagner A., Martínez-Vázquez C., Mau S., Santana-Ros T., Santana-Silva L., Sifón C., Simha S., Thirouin A., Trilling D., Vivas A.K., Zenteno A. (2022). A Deep and Wide Twilight Survey for Asteroids Interior to Earth and Venus. *The Astronomical Journal*. — 164. — P.168 — DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ac8cff>

Stokes G.H., Yeomans D.K. (2003). A Study to Determine the Feasibility of Extending the Search for NEOs to Smaller Limiting Diameters: Report of a NASA Science Definition Team. AGU Fall Meeting Abstracts, 2003. — 51E-02 https://cneos.jpl.nasa.gov/doc/SDT_report_2003.html

Stokes, G.H., Barbee, B.W., Bottke W.F., et al. (2017). Update to Determine the Feasibility of Enhancing the Search and Characterization of NEOs. Report of the Near-Earth Object Science Definition Team, NASA https://cneos.jpl.nasa.gov/doc/SDT_report_2017.htm

Wallace B., Scott R., Sale M. (2014). The Near Earth Object Surveillance Satellite: Mission status and CCD evolution after 18 months on-orbit. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, E30.

Wang, X. et al., (2022). “Warning of Asteroids Approaching Earth from the Sunward Direction using Two Earth-leading Heliocentric Orbiting Telescopes. — *Icarus*. — 377. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.114906>

В.И. Миронов, Ю.В. Миронов, Д.К. Херай (2019). Оптимальное определение орбиты космических объектов по угловым измерениям наземных оптико-электронных станций. SPIRAS Proceedings, — 18, 5. ISSN 2078-9181, DOI: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.2019.18.5.1239-1263>

References

Abbasi V., Thorsteinson S., Balam D., Rowe J., Laurin D., Scott R. L., Doyon M. (2019) The NEOSat Experience: 5 years in the life of Canada's space surveillance telescope. 1st NEO and Debris Detection Conference ESA2019. — P.91. <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/neosst1/paper/494/NEOSST1-paper494.pdf> (in English).

de La Fuente Marcos C., de La Fuente Marcos R. (2014) Reconstructing the Chelyabinsk event: pre-impact orbital evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 443. — P.L39-L43 — DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/slu07> (in English).

Gooding R. H. (1993) A new procedure for orbit determination based on three lines of sight: Angles only. NASA STI/Recon Technical Report — 94. — P.21224. — url: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993STIN...9421224G> (in English).

Grav T., Mainzer A.K., Masiero J.R., Dahlen D.W., Spahr T., Bottke W.F., Masci F.J. (2023) The NEO Surveyor Near-Earth Asteroid Known Object Model. *The Planetary Science Journal* — 4. — P. 228 — DOI: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad072e> (in English).

Hildebrand A.R., Carroll K.A., Tedesco E.F., Faber D.R., Cardinal R.D., Matthews J.M., Kuschnig R., Walker G.A.H., Gladman B., Pazder J., Brown P.G., Larson S.M., Worden S.P., Wallace B.J., Chodas P. W., Muinonen K., Cheng A. (2004) Advantages of Searching for Asteroids from Low Earth Orbit: the NEOSat Mission. *Earth Moon and Planets* — 95. — P.33-40. — DOI: <https://doi.org/10.1007/s11038-005-9016-z> (in English).

Laurin D., Hildebrand A., Cardinal R., Harvey W., Tafazoli S. (2008) NEOSat: a Canadian small space telescope for near Earth asteroid detection. *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter*. — 7010. — P.701013. — DOI: <https://doi.org/10.1117/12.789736> (in English).

Mainzer A.K., Masiero J.R., Abell P.A., Bauer J.M., Bottke W., Buratti B.J., Carey S.J., Cotto-Figueroa D., Cutri R.M., Dahlen D., Eisenhardt P.R.M., Fernandez Y.R., Furfaro R., Grav T., Hoffman T.L., Kelley M.S., Kim Y., Kirkpatrick J.D., Lawler C.R., Lilly E., Liu X., Marocco F., Marsh K.A., Masci F.J., McMurtry C.W., Pourrahmani M., Reinhardt L., Ressler M. E., Satpathy A., Schambeau C.A., Sonnett S., Spahr T.B., Surace J.A., Vaquero M., Wright E.L., Zengilowski G.R. (2023) NEO Surveyor Mission Team The Near-Earth Object Surveyor Mission. *The Planetary Science Journal*. — 4. — P.224 — DOI: <https://doi.org/10.3847/PSJ/ad0468> (in English).

Mainzer A., Bauer J., Grav T., Masiero J., Cutri R. M., Dailey J., Eisenhardt P., McMillan R.S., Wright E., Walker R., Jedicke R., Spahr T., Tholen D., Alles R., Beck R., Brandenburg H., Conrow T., Evans T., Fowler J., Jarrett T., Marsh K., Masci F., McCallon H., Wheelock S., Wittman M., Wyatt P., DeBaun E., Elliott G., Elsbury D., Gautier T., Gomillion S., Leisawitz D., Maleszewski C., Micheli M., Wilkins A. (2011) Preliminary Results from NEOWISE: An Enhancement to the Wide-field Infrared Survey Explorer for Solar System Science. *The Astrophysical Journal*. — 731. — P.53 — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/731/1/53> (in English).

Mainzer A., Grav T., Bauer J., Masiero J., McMillan R.S., Cutri R.M., Walker R., Wright E., Eisenhardt P., Tholen D.J., Spahr T., Jedicke R., Denneau L., DeBaun E., Elsbury D., Gautier T., Gomillion S., Hand E., Mo W., Watkins J., Wilkins A., Bryngelson G.L., Del Pino Molina A., Desai S., Gómez Camus M., Hidalgo S.L., Konstantopoulos I., Larsen J.A., Maleszewski C., Malkan M.A., Mauduit J.-C., Mullan B.L., Olszewski E.W., Pforr J., Saro A., Scotti J.V., Wasserman L.H. (2011) NEOWISE Observations of Near-Earth Objects: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 743. — P.156. — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/743/2/156> (in English).

Mainzer A., Grav T., Masiero J., Hand E., Bauer J., Tholen D., McMillan R. S., Spahr T., Cutri R. M., Wright E., Watkins J., Mo W., Maleszewski C. (2011). NEOWISE Studies of Spectrophotometrically Classified Asteroids: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 741. — P.90, — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/741/2/90> (in English).

Mainzer A., Masiero J., Grav T., Bauer J., Tholen D. J., McMillan R. S., Wright E., Spahr T., Cutri R. M., Walker R., Mo W., Watkins J., Hand E., Maleszewski C. (2012). NEOWISE Studies of Asteroids with Sloan Photometry: Preliminary Results. *The Astrophysical Journal*. — 745. — P.7 — DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/745/1/7> (in English).

Mainzer A., Usui F., Trilling D. E. (2015). Space-Based Thermal Infrared Studies of Asteroids. *Asteroids IV*, — 89-106. — DOI: https://doi.org/10.2458/azu_uapress_9780816532131-ch005 (in English).

Mark Boslough, Barbara Jennings, Brad Carvey, William Fogleman (2015). FEMA Asteroid Impact Tabletop Exercise Simulations. *Procedia Engineering*. — 103. — P.43-51. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.04.007>, url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705815006815> (in English).

Sheppard S.S., Tholen D. J., Pokorný P., Micheli M., Dell'Antonio I., Fu S., Trujillo C.A., Beaton R., Carlsten S., Drlica-Wagner A., Martínez-Vázquez C., Mau S., Santana-Ros T., Santana-Silva L., Sifón C., Simha S., Thirouin A., Trilling D., Vivas A.K., Zenteno A. (2022). A Deep and Wide Twilight Survey for Asteroids Interior to Earth and Venus. *The Astronomical Journal*. — 164. — P.168 — DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ac8eff> (in English).

Stokes G.H., Yeomans D.K. (2003). A Study to Determine the Feasibility of Extending the Search for NEOs to Smaller Limiting Diameters: Report of a NASA Science Definition Team. AGU Fall Meeting Abstracts, 2003. — 51E-02 https://cneos.jpl.nasa.gov/doc/SDT_report_2003.html (in English).

Stokes, G.H., Barbee, B.W., Bottke W.F., et al. (2017). Update to Determine the Feasibility of Enhancing the Search and Characterization of NEOs. Report of the Near-Earth Object Science Definition Team, NASA https://cneos.jpl.nasa.gov/doc/SDT_report_2017.htm (in English).

Wallace B., Scott R., Sale M. (2014). The Near Earth Object Surveillance Satellite: Mission status and CCD evolution after 18 months on-orbit. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, E30. (in English).

Wang, X. et al., (2022). “Warning of Asteroids Approaching Earth from the Sunward Direction using Two Earth-leading Heliocentric Orbiting Telescopes. — *Icarus*. — 377. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.114906> (in English).

Mironov V.I., Mironov Yu.V., Khegay D.K. (2019) Optimalnoe opredelenie orbity kosmicheskikh ob'yektov po uglovym izmereniyam nazemnykh optiko-elektronnykh stanciy [Optimal determination of the orbit of space objects based on angular measurements of ground-based optoelectronic stations]. *SPIRAS Proceedings*. — 18. — 5. ISSN 2078-9181 DOI: <http://dx.doi.org/10.15622/sp.2019.18.5.1239-1263> (in Russian)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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

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

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

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

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

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

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

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>

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 23.06.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 2.