

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

2024 • 4



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«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

БАС РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корея биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Ноганович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджид Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжін профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н=1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

ҚАШИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШҚАЕВ Қуантай Авағзыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Nemandó, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖҮСПІНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«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.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VУУ00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы құалық.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендирович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (СПША), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктур-рваных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарной медицины ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии» (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУНОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

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 о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

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

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV 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), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

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. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

PHYSICAL

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 4. Number 352 (2024), 5–15

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.303>

FTMP 81.09.03

ӘОЖ 539.217.2

©A. Bekeshev, A. Mostovoy, M. Akhmetova*, L. Tastanova, 2024.

K.Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: majiko.a@gmail.com

RESEARCH ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS INCORPORATING MODIFIED MINERAL FILLERS

A. Bekeshev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, e-mail: amirbek2401@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>;

A. Mostovoy – Candidate of Technical Sciences, Professor, Engels Technological Institute, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Engels, Russia, e-mail: Mostovoy19@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>;

M. Akhmetova – PhD student, Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, e-mail: majiko.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>;

L. Tastanova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, e-mail: Lyazzatt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Abstract. Modification of dispersed fillers (basalt and chromite) was carried out using an induction system with a power output of 2 kW and a processing duration of 60 seconds. This method provided short-term high-temperature exposure via high-frequency currents, significantly enhancing the performance characteristics of epoxy composites.

The aim of the study was to investigate the effect of high-frequency treatment on the structure and properties of fillers, as well as their subsequent interaction with the polymer matrix.

The objectives of the study included: Determining changes in the chemical composition of fillers as a result of treatment; Examining morphological changes in fillers using electron microscopy; Assessing the dielectric properties of fillers before and after treatment; Analyzing the impact of modified fillers on the physical and mechanical properties of epoxy composites.

The results of the study demonstrated that high-frequency treatment facilitates the removal of unbound moisture, the oxide layer from particle surfaces, and the decomposition of unstable oxides. Basalt particles acquire a needle-like morphology, leading to a micro-reinforcement effect and improved mechanical properties. In contrast, the structure of chromite remains largely unchanged. Measurements of dielectric permittivity showed a significant increase for both types of fillers, indicating structural

changes. The strength properties of composites containing modified fillers improved by 7–17%.

This study highlights the potential of induction modification as an effective method for enhancing the properties of mineral fillers for use in composite materials.

Keywords: epoxy oligomer, basalt, chromite, induction system, high-frequency current treatment, physical and mechanical properties.

©А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова *, Л. Тастанова, 2024.

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті

E-mail: majiko.a@gmail.com

ТҮРЛЕНДІРІЛГЕН МИНЕРАЛДЫ ТОЛТЫРҒЫШТАР ҚОСЫЛҒАН ЭПОКСИДТІК КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

А. Бекешев – физика-математика ғылымдар кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: amirbek2401@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>;

А. Мостовой – техникалық ғылымдар кандидаты, қауымдастырылған профессор, Энгельс технологиялық институты, Ю.А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Энгельс, Ресей, e-mail: Mostovoy19@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>;

М. Ахметова – PhD докторант, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: majiko.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>;

Л. Тастанова – химия ғылымдар кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: Lyazzatt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Аннотация. Дисперсті толтырғыштарды (базальт және хромит) модификациялау 2 кВт қуаттылықтағы индукциялық қондырғыны пайдаланып, өңдеу уақыты 60 секунд болған жағдайда жүзеге асырылды. Бұл әдіс жоғары жиілікті токтар арқылы толтырғыштарға қысқа мерзімді жоғары температуралық әсер көрсетіп, эпоксидті композиттердің пайдалану сипаттамаларын едәуір жақсартуға мүмкіндік берді.

Зерттеудің мақсаты – жоғары жиілікті өңдеудің толтырғыштардың құрылымы мен қасиеттеріне, сондай-ақ олардың полимерлік матрицамен өзара әрекеттесуіне әсерін зерттеу. Зерттеудің міндеттері: өңдеу нәтижесінде толтырғыштардың химиялық құрамындағы өзгерістерді анықтау; электрондық микроскопияны пайдаланып толтырғыштардың морфологиялық өзгерістерін зерттеу; толтырғыштардың диэлектрлік сипаттамаларын өңдеуге дейін және кейін бағалау; модификацияланған толтырғыштардың эпоксидті композиттердің физика-механикалық қасиеттеріне әсерін талдау.

Зерттеу нәтижелері жоғары жиілікті токтармен өңдеу арқылы байланыспаған ылғалды, бөлшектердің беткі оксидті қабатын және тұрақсыз оксидтердің ыдырауын жоюға ықпал ететінін көрсетті. Базальт бөлшектері инеге ұқсас пішінге ие болып, микроармиру әсеріне және механикалық қасиеттердің жақсаруына

әкелді. Хромиттің құрылымы өңдеуден кейін айтарлықтай өзгеріске ұшыраған жоқ. Диэлектрлік өткізгіштікті өлшеу екі толтырғыштың да құрылымының өзгеруін көрсете отырып, оның айтарлықтай артқанын анықтады. Модификацияланған толтырғыштары бар композиттердің беріктік қасиеттері 7–17%-ға артты.

Бұл зерттеу индукциялық модификацияның минералды толтырғыштардың қасиеттерін жақсартудың тиімді әдісі ретіндегі әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: эпоксидті олигомер, базальт, хромит, индукциялық қондырғы, жоғары жиілікті токтармен өңдеу, физикалық-механикалық қасиеттер.

Алғыс: зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен іске асырылды (жоба № BR18574094).

©А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова*, Л. Тастанова, 2024.

Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова

E-mail: majiko.a@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

А. Бекешев – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан, e-mail: amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>;

А. Мостовой – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Энгельский технологический институт, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Энгельс, Россия, e-mail: Mostovoy19@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>;

М. Ахметова – докторант PhD, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан, e-mail: majiko.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>;

Л. Тастанова – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан, e-mail: Lyazzatt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Аннотация. Модификация дисперсных наполнителей (базальт и хромит) проводилась с использованием индукционной установки мощностью 2 кВт при времени обработки 60 секунд. Этот метод обеспечивал кратковременное воздействие высоких температур за счет высокочастотных токов, что способствовало значительному улучшению эксплуатационных характеристик эпоксидных композитов.

Цель исследования заключалась в изучении влияния высокочастотной обработки на структуру и свойства наполнителей, а также на их последующее взаимодействие с полимерной матрицей.

Задачами исследования являлось определение изменений химического состава наполнителей в результате обработки, изучение морфологических изменений наполнителей с использованием электронной микроскопии, оценку

диэлектрических характеристик наполнителей до и после обработки, анализ влияния модифицированных наполнителей на физико-механические свойства эпоксидных композитов.

Результатами исследования установлено, что обработка высокочастотными токами способствует удалению несвязанной влаги, оксидного слоя с поверхности частиц, а также разрушению нестабильных оксидов. Частицы базальта приобретают игольчатую форму, что приводит к эффекту микроармирования и улучшению механических свойств. В то же время структура хромита остается практически неизменной. Измерение диэлектрической проницаемости показало её значительное увеличение для обоих типов наполнителей, что свидетельствует об изменениях их структуры. Прочностные свойства композитов, содержащих модифицированные наполнители, выросли на 7–17%. Данное исследование демонстрирует потенциал индукционной модификации как эффективного метода улучшения характеристик минеральных наполнителей для использования в композитных материалах.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, базальт, хромит, индукционная установка, обработка высокочастотными токами, физико-механические свойства.

Кіріспе

Полимерлі композициялық материалдарды (ПКМ) алу үшін физика-химиялық және механикалық қасиеттеріне әсер ететін дисперсті минералды толтырғыштар кеңінен қолданылады (Bogiatzidis, et al, 2021). Қазіргі уақытта инновациялық экономика талаптарына сай полимер материалдарын жасау үшін тек байланыстырғышты ғана емес, толтырғышты да әртүрлі физикалық немесе химиялық әдістермен модификациялау болашағы зор бағыт болып табылады (Bekeshev, et al, 2024).

Минералды толтырғыштарды модификациялау үшін эффективті әдістердің қатарына электротермиялық әдістің әсері, сонымен қатар ылғалды жою мақсатында жиілігі жоғары қыздыру, сондай ақ дисперсті толтырғыштардың қасиеттері мен құрылымының өзгеруі жатады. Алайда, қазіргі кезде осы модификация электротермияның көпфакторлы процестерінің кесірінен, жеткілікті зерттелмеген материалдарды өндеудегі жиілігі жоғары токтың технологиялық режимдерді, электрофизикалық параметрлер мен ылғал бойынша қатты ерекшеленетін, сонымен қатар толтырғыштарды өңдеу кезінде физикалық параметрлерін қадағалаудың нақты әдістерінің болмауы, соның әсерінен жазықтықтағы жиілігі жоғары материалдарды термиялық өңдеу процесінің теориясының ойлап шығару деңгейінің жетіспеуінен кең тараған жоқ. Осыған байланысты жұмыс мақсаты жиілігі жоғары модификацияның дисперсті минералды толтырғыштардың құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеу

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында қолданылған материалдар:

Эпоксидті матрица. Композиттердің негізі ретінде жоғары механикалық

беріктікке және химиялық төзімділікке ие ЭД-20 маркалы эпоксидті шайыр қолданылды.

Қатайтқыш ретінде үш өлшемді торлы құрылымды қамтамасыз ететін полиэтиленполиамин (ПЭПА) пайдаланылды.

Жылуға төзімділікті және отқа төзімділікті арттыру үшін құрамға фенильді топтармен аяқталған олигорезорцинфенилфосфат (Fyrolflex, ОРФФ) қосылды.

Матрица құрамы: 100 массалық үлес эпоксидті шайыр ЭД-20; 40 массалық үлес ОРФФ; 15 массалық үлес ПЭПА.

Дисперсті минералды толтырғыштар:

Базальт: Кремний, алюминий және темір оксидтері көп мөлшерде болатын жанартаулық минерал. Композиттердің құрамында 30 массалық үлес мөлшерінде қолданылды. Модификациядан кейін микроармирлеу әсерінің арқасында механикалық қасиеттерді жақсартады.

Хромит: Жоғары термиялық тұрақтылыққа ие хромға бай минерал. 75 массалық үлес мөлшерінде пайдаланылды. Композиттердің химиялық және термиялық төзімділігін жақсартуға арналған.

Толтырғыштарды модификациялау әдістері:

Толтырғыштар эпоксидті матрицада біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін ультрадыбыстық өңдеуге ұшырады. Жиілігі: 22 ± 2 кГц 22 ± 2 кГц. Өңдеу уақыты: 60 минут. Бөлшектердің химиялық құрамын және құрылымын өзгерту үшін жоғары жиілікті токтармен өңдеу УПИ-60-2 индукциялық қондырғысында жүргізілді. Қуаты: 2 кВт. Өңдеу уақыты: 60 секунд.

Стандартталған сынақ үлгілері:

Дайындалған үлгілер ГОСТ стандарттарына сай жасалды, бұл нәтижелердің дәлдігі мен қайталануын қамтамасыз етті.

Зерттеуде қолданылған әдістер

Рентгенфлуоресценттік талдау

Рентгенфлуоресценттік талдау элементтік картирование жасау мүмкіндігімен жергілікті элементтік микроанализді зерттеу үшін қолданылды. Үлгінің сапалық элементтік талдау принципі алғашқы рентген сәулелерінің әсерінен қоздырылған және арнайы датчиктер арқылы тіркелетін рентгендік флуоресценцияға – сипаттамалық екінші рентген сәулеленуіне негізделген.

Сандық талдау зерттелетін элементтердің үлгідегі және осы элементтердің белгілі құрамына ие эталондардағы сәулелену қарқындылығын салыстыру арқылы жүргізіледі.

Толтырғыштардың рентгенфлуоресценттік талдауы РММ 30-μ рентгендік аналитикалық микронд-микроскопында жүзеге асырылды.

Диэлектрлік параметрлерді өлшеу

Диэлектрлік өтімділікті (ϵ) және диэлектрлік шығындардың тангенсін ($tg\delta$) өлшеу толқындық көпір әдісі арқылы зертханалық қондырғыда жүргізілді (Sivak, et al, 2021).

Сканирлеуші электрондық микроскопия әдісі

«Aspex Explorer» үстелдік сканирлеуші электрондық микроскопы металдық және диэлектрлік үлгілерді кері шашыратылған және екінші реттік электрондарды, сондай-ақ сипаттамалық рентген сәулеленуін анықтау әдісімен зерттеуге арналған. Зерттеулер барысында эпоксидпен толтырылған полимер үлгілерінің беткі қабаты, сынуы және шлифтері зерттелді.

Жұмыста механикалық қасиеттерді зерттеу төмендегідей әдістер қолданылды:

- иілу кезіндегі бұзылу кернеуін өлшеу (стандарт бойынша ГОСТ 4648–71);
- созылу үрдісіндегі бұзылу кернеуін өлшеу (стандарт бойынша ГОСТ 11262–80);
- созылу, иілу барысында серпімділік модулін өлшеу (стандарт бойынша ГОСТ 9550–81);

- соққы тұтқырлығын өлшеу (стандарт бойынша ГОСТ 4647–80);

Бринелль бойынша қаттылықты өлшеу (стандарт бойынша ГОСТ 4670–91).

Нәтижелер

Полимерлі матрица ретінде алдын ала әзірленген құрам қолданылды, ол 100 массалық бөлік эпоксидті смола ЭД-20 маркасынан, 40 массалық бөлік фенильді топтармен аяқталған олиго(резорцинфенилфосфат) Fyrolflex (ОРФФ) және 15 массалық бөлік қатайтқыш — полиэтиленполиаминнен (ПЭПА) тұрады (Mostovoi, et al, 2019). Эпоксидті композицияға толтырғыштар ретінде 30 массалық бөлік базальт (Mostovoi, et al, 2018) және 75 массалық бөлік хромит (Asimakopoulos, et al, 2019) қосылды.

Толтырғыштардың эпоксидті смолада біркелкі таралуын жақсарту үшін ультрадыбыстық өңдеу жүргізілді. Ультрадыбыстық әсердің сипаттамалары: жиілік мөлшері— 22 ± 2 кГц, әсер ету уақыты — 60 минут.

Дисперсті минералды толтырғыштарды модификациялау УПИ-60-2 индукциялық қондырғысында 2 кВт қуатта және 60 секунд бойы жүргізілді. УПИ-60-2 индукциялық қондырғысында 60 секунд қыздыру кезінде толтырғыштардың температурасы базальт үшін 645°C , ал хромит үшін 721°C -ты құрайды, яғни толтырғыштарға қысқа мерзімді жоғары температуралық жоғары жиілікті токтардың әсері жүреді, нәтижесінде базальттың (1-кесте) және хромиттың (2-кесте) химиялық құрамы өзгереді. Базальт толтырғышында Fe және Al оксидтерінің мөлшері артады, ал хромитте Cr және Al оксидтерінің мөлшері артады. Бұл толтырғыш бөлшектерінің беткі қабатынан ылғалдың және оксидтік пленканың жойылуымен, сондай-ақ ыдырау температурасы модификациялау температурасынан төмен заттардың оксидтерінің ыдырауымен түсіндіріледі.

Кесте 1– Базальттың химиялық құрамы

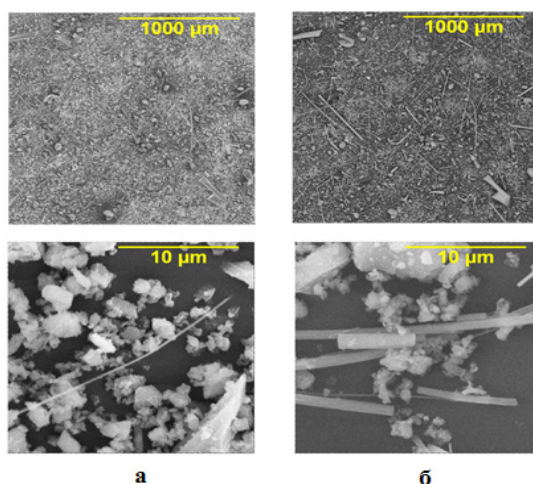
Компонент	Концентрациясы, %	
	өңделмеген	өңделген
1	2	3
Si (кремний)	48,47	32, 10
Fe (темір)	11,60	25,23
Al (алюминий)	11,21	20, 09

Mg (магний)	15,31	16,58
Ca (кальций)	8,95	1,91
Cr (хром)	1,74	2,11
Na (натрий)	1,54	-
Ti (титан)	0,58	1,21
K (калий)	0,35	-
Mn (марганец)	0,20	0,44
Ni (никель)	0,16	0,25
S (күкірт)	0,06	0,11

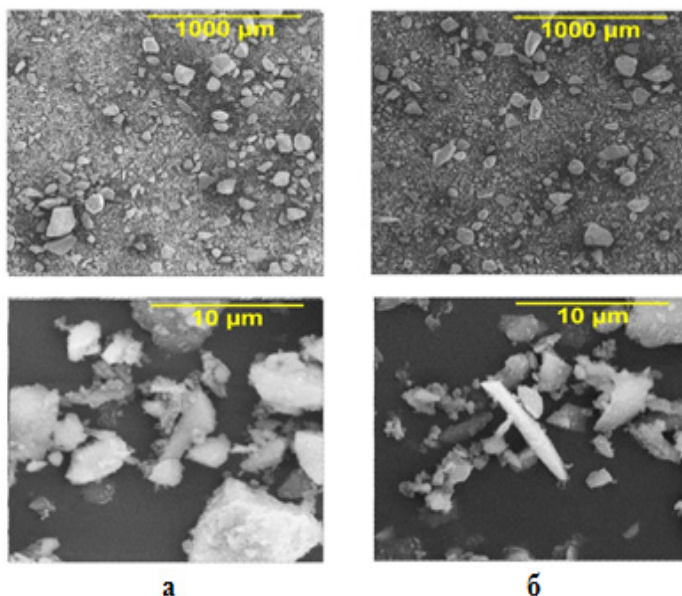
Кесте 2 – Хромиттің химиялық құрамы

Компонент	Концентрациясы, %	
	өңделмеген	өңделген
Cr (хром)	43,33	64,33
Ca (кальций)	21,41	0,38
Fe (темір)	17,74	18,08
Si (кремний)	13,05	6,27
Al (алюминий)	3,02	9,45
Ni (никель)	0,83	0,67
Cu (мыс)	0,35	0,47
Ti (титан)	0,14	0,15
S (күкірт)	0,08	0,04
P (фосфор)	0,03	0,02

Жоғары жиілікті токтармен өңдегеннен кейін базальт бөлшектері инеге ұқсас пішінге ие болады (сурет 1), ал мұндай толтырғыш микроармирлеу әсеріне ие болып, қасиеттердің жақсаруына әкеледі.



Сурет 1– Базальт жынысының СЭМ-суреті: жоғары жиілікті токтармен өңдеуге дейін (а) және кейін (б)



Сурет 2 - жоғары сағаттық токтармен өндеуден бұрын (А) және кейін (Б) хромит жынысының СЭМ көрінісі.

Хромит бөлшектері үшін (сурет 2) индукциялық өңдеу нәтижесінде құрылымның өзгеруі ине тәрізді құрылым бөлшектерінің ішінара көрінуімен шамалы дәрежеде жүреді. Өздеріңіз білетіндей, ϵ диэлектрлік ену поляризация өлшемі болып табылады, сондықтан ϵ шамалы өзгеруі де материал құрылымының өзгеруінің жанама дәлелі болып табылады (Jakab, et al, 2021; Lei, et al, 2005). Минералды толтырғыштар үшін диэлектрлік өткізгіштік екі еседен астам артады, бұл индукциялық қондырғыларда өндеуден бұрын және кейін базальт пен хромит құрылымының өзгеруін көрсетеді (кесте 3). Толтырылған эпоксидті қосылыстардың физика-механикалық сипаттамаларын зерттеу (кесте 4,5) модификацияланбаған толтырғыштармен толтырылған эпоксидті полимермен салыстырғанда Композиттердің қасиеттерінің бүкіл кешені (7-ден 17%-ға дейін) жақсарады, бұл индукциялық Қондырғыда жоғары жиілікті токтармен өңделген базальт пен хромиттің құрылымы мен химиялық құрамының өзгеруіне байланысты.

Кесте 3– Базальт пен хромиттің диэлектрлік параметрлері

Диэлектрлік параметрлер	Базальт		Хромит	
	ЖЖТ өндеуге дейін	ЖЖТ өндеуге кейін	ЖЖТ өндеуге дейін	ЖЖТ өндеуге кейін
Диэлектрлік шығындар бұрышының тангенсі, $\text{tg}\delta$	0,047	0,01	0,243	0,15
Диэлектрлік өткізгіштік, ϵ	7,504	14,682	3,426	7,02

Кесте 4 - базальтпен толтырылған эпоксидті композиттер қасиеттері

Композит құрамы, массалық үлес, 15 массалық үлес полиэтиленполиамин қосылған	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/м ²	H_B , МПа
100 ЭД-20 + 40 ФФ	81	3209	31	1897	6,0	176
базальт жыныстарын жоғары жиілікті токтармен өңдеуге дейін						
100 ЭД-20 + 40 ФФ + 30 базальт	89	10022	53	2704	7,0	394
базальт жыныстарын жоғары жиілікті токтармен өңдеуге кейін						
100 ЭД-20 + 40 ФФ + 30 базальт	97	9625	62	3146	8,0	446

Ескертпе: $G_{из}$ – иілу кернеуі; $E_{из}$ – иілудің серпімділік модулі; G_p – тартылу беріктігі; E_p -созылу серпімділік модулі; H_B – Бринелл қаттылығы; $a_{уд}$ – соққы тұтқырлығы; қасиеттері бойынша вариация коэффициенті 5-7 %.

Кесте 5 - Хромитпен толтырылған эпоксид негізіндегі композиттер қасиеттері

Композит құрамы, массалық үлес, 15 массалық үлес полиэтиленполиамин қосылған	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/ м ²	H_B , МПа
100 ЭД-20 + 40 ФФ	81	3211	31	1897	6,0	176
хромит жыныстарын жоғары жиілікті токтармен өңдеуге дейін						
100 ЭД-20 + 40 ФФ + 75 хромит	96	9554	45	2543	6,0	310
хромит жыныстарын жоғары жиілікті токтармен өңдеуге кейін						
100 ЭД-20+40 Ф + 75 хромит	103	8413	51	3002	7,0	342

Ескертпе: $G_{из}$ – иілу кернеуі; $E_{из}$ – иілу кезіндегі серпімділігі; G_p – тартылу кезіндегі беріктік; E_p -создылу серпімділік модулі; H_B – Бринелл бойынша қаттылық; $a_{уд}$ – соққы тұтқырлығы; қасиеттері бойынша вариация коэффициенті 5-7 %.

Талқылау

Химиялық құрамды талдау жоғары жиілікті токтармен өңдеу толтырғыштарға айтарлықтай өзгерістер әкелетінін көрсетті. Базальтта темірдің (Fe) және алюминийдің (Al) мөлшері артты. Бұл өзгерістер беткі оксидті қабатты жоюмен және тұрақсыз қосылыстарды бұзумен байланысты. Хромитте хромның (Cr) және алюминийдің (Al) мөлшері артты. Бұл да оксидті қабатты жою және термиялық өңдеудің әсерімен түсіндіріледі.

Бұл өзгерістер жоғары жиілікті токтар тудырған жоғары температураның қысқа мерзімді әсеріне байланысты, бұл толтырғыштар мен эпоксидті матрица арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуға ықпал етеді.

Сканерлеуші электронды микроскопия нәтижелері бойынша: Базальт инеге ұқсас пішінге ие болды, бұл микроармирлеу әсерін күшейтеді. Бұл жақсарту композиттің физика-механикалық қасиеттеріне, мысалы, иілуге беріктік пен соққы тұтқырлығына оң әсер етеді. Хромит айтарлықтай морфологиялық өзгерістер көрсеткен жоқ, бұл оның жоғары термиялық тұрақтылығын көрсетеді.

Диэлектрлік өткізгіштік ($\epsilon\epsilon$) екі толтырғыш үшін де айтарлықтай артты:

Базальтта — 7.5047.504-тен 14.68214.682-ке дейін. Хромитте — 3.4263.426-дан 7.027.02-ге дейін.

Бұл толтырғыштардың құрылымдық өзгерістерін көрсетеді, олар поляризация қабілетіне оң әсерін тигізеді, бұл диэлектрлік материалдарда қолдану үшін маңызды.

Модификацияланған және модификацияланбаған толтырғыштары бар композиттердің механикалық қасиеттеріне салыстырмалы талдау: Базальтпен композиттердің беріктік сипаттамалары 9–17%9–17%-ға артты. Хромитпен композиттерде жақсартулар 7–16%7–16%-ды құрады.

Бұл толтырғыштар мен полимерлік матрица арасындағы адгезиялық өзара әрекеттесудің модификация арқасында жақсарғанын көрсетеді.

Жоғары жиілікті токтармен толтырғыштарды модификациялау: Эпоксидті композиттердің механикалық және термиялық жүктеме жағдайларында тиімділігін арттырады. Құрылыс, электроника және машина жасау салаларында толтырғыш композиттерді қолдану аймағын кеңейтеді.

Қорытынды

Рентгенфлуоресцентті талдауға сәйкес, зерттелетін толтырғыштарда оксидтер саны өзгереді: базальтта темір мен алюминий оксидтері, ал хромитте хром мен алюминий оксидтері көбейеді. Жоғары жиілікті токтармен модификацияланған кезде базальтта ине тәрізді бөлшектердің болуы байқалады, ал хромит бөлшектері іс жүзінде өзгермейді. Модификацияға дейін және одан кейін минералды толтырғыштардың диэлектрлік көрсеткіштері артады, бұл базальт пен хромит бөлшектерінің құрылымының өзгеруін көрсетеді. Физика-механикалық сипаттамаларды талдау базальтпен толтырылған эпоксидті қосылыс үшін барлық қасиеттер 9-дан 17% - ға дейін, ал хромитпен толтырылған үшін 7-ден 16% - ға дейін өсетінін көрсетті.

Осылайша, УПИ-60-2 индукциялық қондырғысындағы дисперсті минералды толтырғыштардың модификациясы қуаты 2 кВт және ұзақтығы 60 сек, базальт пен хромиттің құрылымы мен химиялық құрамын өзгертуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде толтырылған эпоксидті қосылыстардың физика-механикалық сипаттамаларының жоғарылауына әкеледі.

Әдебиеттер

Bogiatzidis, C., Zoumpoulakis, L. Терморективті полимерлі матрицалық композиттер эпоксидті, қанықпаған полиэфирді және новолак шайырын ендіретін құрылыс және бұзу қалдықтарының ұнтағы: салыстырмалы зерттеу // Полимерлер. 2021. №13 (5), С.737. doi: 10.3390 / polym13050737.

Асимакопулос, И., Псаррас, Г., Зумпулакис, Л. Терморективті полимерлі матрицаларға енгізілген барий титанатының нанобөлшектерінің нанокомпозиттері (Новолак шайыры/қанықпаған полиэфирлер/эпоксидті шайыр): Салыстырмалы Зерттеу // Химинженерия 2019, 3(1), 12; <https://doi.org/10.3390/chemengineering3010012>. (ағылшын тілінде).

Балас Якаб, Илеана Панайтеску, Норберт Гамсягер. Эпоксидті композиттік жабындардың трибологиялық көрсеткіштерін жақсартудағы толтырғыштардың әрекеті // Полимерлерді Сынау, №100,2021, 107243. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107243> б.

Лей Л., Цзоу Х., Шао Л., Ван Г., Чен Ц. Наноөлшемді кальций карбонаты бөлшектерімен

толтырылған эпоксидті композиттің механикалық қасиеттерін зерттеу. *Journal of Materials Science*. 2005, 40, pp.1297–1299. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-6956-7>. (ағылшын тілінде).

Букетов, А.В. және т.б. Соққы жағдайында ультра дисперсті гауһармен толтырылған эпоксидті композиттердің бұзылу динамикасы // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020, 27, pp.725–733. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1495788>. (ағылшын тілінде)

Бекешев, А., Васинкина, Е., Калганова, С., Кадыков, Ю., Мостовой, А., Щербачев, А., Лопухова, М. және Аймағанбетова, З. Эпоксидті базальтпен толтырылған олигомердің микротолқынды модификациясы, оның негізіндегі композицияның функционалдық қасиеттерін жақсарту // *Polymers*. 2023, 15(9). <https://doi.org/10.3390/polym15092024>.

Сивак А.С. және т.б. // Вопросы электротехнологии. 2021. №4(33). С.23-28.

Мостовой, А.С. және т.б. Эпоксидті полимерлерге арналған жоғары тиімді пластификаторлар-антипирин // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019, 10, pp.1135–1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>

Мостовой, А.С. және басқалар. Ұсақ Дисперсті Хромиттің Модификацияланған Эпоксидті Композиттердің Физика-Химиялық Және Механикалық Қасиеттеріне әсері // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2018, 91, pp.1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

References

Bogiatzidis, C., Zoumpoulakis, L. Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester, and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes Powder: A Comparative Study // *Polymers*. 2021, 13(5), p.737. <https://doi.org/10.3390/polym13050737>.

Asimakopoulos, I., Psarras, G., Zoumpoulakis, L. Nanocomposites of Barium Titanate Nanoparticles Embedded in Thermosetting Polymer Matrices (Novolac Resin/Unsaturated Polyesters/Epoxy Resin): A Comparative Study // *ChemEngineering*. 2019, 3(1), p.12. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3010012>.

Jakab, B., Panaiteșcu, I., Gamsjäger, N. The Action of Fillers in the Enhancement of the Tribological Performance of Epoxy Composite Coatings // *Polymer Testing*. 2021, 100, 107243. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107243>.

Lei, L., Zou, H., Shao, L., Wang, G., Chen, J. Study on Mechanical Property of Epoxy Composite Filled with Nano-Sized Calcium Carbonate Particles // *Journal of Materials Science*. 2005, 40, pp.1297–1299. <https://doi.org/10.1007/s10853-005-6956-7>.

Buketov, A.V., et al. Dynamics of Destruction of Epoxy Composites Filled with Ultra-Dispersed Diamond Under Impact Conditions // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020, 27, pp.725–733. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1495788>.

Bekeshev, A., Vasinkina, E., Kalganova, S., Kadykova, Y., Mostovoy, A., Shcherbakov, A., Lopukhova, M., Aimagambetova, Z. Microwave Modification of an Epoxy Basalt-Filled Oligomer to Improve the Functional Properties of a Composite Based on It // *Polymers*. 2023, 15(9). <https://doi.org/10.3390/polym15092024>.

Sivak, A.S., et al. Investigation of Dielectric Properties of Composite Materials // *Voprosy Elektrotehnologii*. 2021, 4(33), pp.23–28.

Mostovoi, A.S., et al. Highly Efficient Plasticizers-Antipirenes for Epoxy Polymers // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019, 10, pp.1135–1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>.

Mostovoi, A.S., et al. Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2018, 91, pp.1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

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

Volume 4. Number 352 (2024), 16–32

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.304>

MPHTI 29.19.13

УДК 534.16

© **G. Yensebaeva, I. Makhambayeva*, A. Seitmuratov, K. Kanibaikyzy,
Z. Suleimenova, 2024.**

Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan.

E-mail: indira_mah@mail.ru

PROBLEMS ON THE PROPAGATION OF HARMONIC WAVES UNDER RHEOLOGICAL VISCOUS PROPERTIES OF A MATERIAL

Yensebayeva Gulzat – Ph.D., Senior lecturer. Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan, E-mail: gulzat-y83@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-1644>;

Makhambayeva Indira – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan, E-mail: indira_mah@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5854-0718>;

Seitmuratov Angysyn – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan, E-mail: angisin_@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9622-9584>;

Kanibaikyzy Kundyzy – Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan. E-mail: VIP_kundyzy@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3713-1608>;

Suleimenova Zhanat – Senior Lecturer, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan, E-mail: zhanka2005@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5860-7655>

Abstract. When studying harmonic waves, the concept of phase velocity is introduced as the rate of change in the state of the medium, while the phase velocity is expressed through the frequencies of natural oscillations and therefore the study of the propagation of harmonic waves is directly related to the problems of determining the natural forms and frequencies of oscillations of plane elements limited in plan. The work examines a number of problems of vibration of flat rectangular elements under arbitrary boundary conditions at the edges of the element in order to determine the frequencies of natural vibrations and considers some problems on the propagation of harmonic waves for various material properties. The general solution refers to an equation of hyperbolic type, which describes the oscillatory and wave process in a flat element. Limiting ourselves to a finite number of first terms in the series of the general equation, we obtain approximate equations for the vibration of a particular plane element. Further, the work considers a number of problems of vibration of flat rectangular elements under arbitrary boundary conditions at the edges of the element in order to determine the natural frequencies of vibrations using the Bland and Filippov method. We presented

the flat method when the element is elastic. In the future, this method will be used for elements made of elastic material.

Keywords: vibrations of flat elements, displacement point, frequency stress, hyperbolic type equations, phase velocity, frequency equation. harmonic waves.

© Г. Еңсебаева, И. Махамбаева*, А. Сейтмұратов, Қ. Қанибайқызы,
Ж. Сүлейменова, 2024.

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан.
E-mail: indira_mah@mail.ru

МАТЕРИАЛДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ГАРМОНИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІ

Еңсебаева Гүлзат – PhD, аға оқытушы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, E-mail: gulzat-y83@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-1644>;

Махамбаева Индира – ф.-м.ғ.к., аға оқытушы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, E-mail: indira_mah@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5854-0718>;

Сейтмұратов Аңғысын – ф.-м.ғ.д., профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
E-mail: angisin_@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9622-9584>;

Қанибайқызы Құндызай – педагогика ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, E-mail: VIP_kundyz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3713-1608>;

Сүлейменова Жанат – аға оқытушы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, E-mail: zhanka2005@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5860-7655>.

Аннотация. Гармоникалық толқындарды зерттеу кезінде фазалық жылдамдық ұғымы орта күйінің өзгеру жылдамдығы ретінде енгізіледі, ал фазалық жылдамдық ортаның тербеліс жиіліктері арқылы көрсетіледі, сондықтан гармоникалық толқындардың таралуын зерттеуге тікелей байланысты болады. Мақалада алдын ала шектелген жазық элементтердің тербелістерінің формалары мен жиіліктерін анықтау мәселелері қарастырылды. Орта тербелістердің жиіліктерін анықтау үшін элементтің шеттеріндегі ерікті шекаралық жағдайларда жазық тікбұрышты элементтердің тербелістерінің бірқатар мәселелері қарастырылған және әртүрлі материалдық қасиеттер үшін гармоникалық толқындардың таралуының кейбір мәселелері де зерттелді. Үш өлшемді есептің жалпы шешімдерінде жазық элементтің қарастырылатын жеке түрлеріне байланысты негізгі белгісіз функциялар таңдалады: жазық элементтің қозғалмайтын жазықтық нүктелеріндегі, атап айтқанда, ортаңғы жазықтықтағы орын ауыстырулар немесе деформациялар тұрақты қалыңдықтағы пластина. Жазық элементтің ерікті нүктесіндегі орын ауыстырулар мен кернеулер жазық элементтің беттеріндегі шекаралық шарттардан анықталатын негізгі белгісіз функциялар арқылы өрнектеледі. Жалпы шешім жазық элементтің тербелмелі және толқындық процесті сипаттайтын гиперболалық типті теңдеуге жатады. Жалпы теңдеу қатарындағы бірінші мүшелердің саны шектеліп, белгілі бір жазық элементтің

тербелісі үшін жуықталған теңдеулерді аламыз. Одан әрі зерттеу жұмысымызда Бланд және Филиппов әдісі бойынша тербелістердің торта жиіліктерін анықтау мақсатында элементтің шеттеріндегі еркін шекаралық жағдайларда жазық тікбұрышты элементтердің тербелістерінің бірқатар мәселелері қарастырылады. Бұл жуық әдіс жазық элементтердің табиғи тербелістерінің жиіліктерін табуға мүмкіндік береді. Жазық элементтің тұтқыр серпімді жағдайындағы есептер де осылай шығарылады. Біз элементтің материалы серпімді болған кездегі жазық элемент жағдайына арналған әдісті тұжырымдадық. Болашақта бұл әдіс тұтқыр серпімді материалдан жасалған элементтер үшін қолданылады.

Түйін сөздер: жазық элементтер тербелісі, орын ауыстыру нүктесі, жиілік кернеу, гиперболалық типті теңдеулер, фазалық жылдамдық, жиілік теңдеуі, гармоникалық толқындар.

© Г. Енсебаева, И. Махамбаева*, А. Сейтмуратов, К. Канибайқызы,
Ж. Сулейменова, 2024.

Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.
E-mail: indira_mah@mail.ru

ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ВЯЗКИХ СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛА

Енсебаева Гульзат – PhD, старший преподаватель, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, E-mail: gulzat-y83@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-1644>;

Махамбаева Индира – к.ф.-м.н., старший преподаватель, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, E-mail: indira_mah@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5854-0718>;

Сейтмуратов Ангысын – д.ф.-м.н., профессор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, E-mail: angisin_@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9622-9584>;

Канибайқызы Кундызай – магистр педагогических наук, старший преподаватель, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, E-mail: vip_kundyz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3713-1608>;

Сулейменова Жанат – старший преподаватель, Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, E-mail : zhanka2005@mail.ru, ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5860-7655>.

Аннотация. При исследовании гармонических волн вводится понятие фазовой скорости как скорости изменения состояния среды, при этом фазовая скорость выражается через частоты собственных колебаний и поэтому исследование распространения гармонических волн имеет прямое отношение к проблемам определения **частот и форм собственных колебаний** плоских элементов. В работе рассматривается ряд задач колебания плоских прямоугольных элементов при произвольных граничных условиях по краям элемента с целью определения частот собственных колебаний и рассматриваются некоторые задачи о распространении гармонических волн при различных свойствах материала. В зависимости от рассматриваемых частных видов плоского элемента в общих

решениях трехмерной задачи выбираются основные неизвестные функции: перемещения или деформации в точках фиксированной плоскости плоского элемента, в частности, в срединной плоскости пластинки постоянной толщины. Перемещения и напряжения в произвольной точке плоского элемента выражаются через основные неизвестные функции, которые определяются из граничных условий на поверхностях плоского элемента. Общее решение относится к уравнению гиперболического типа, которое и описывает колебательный и волновой процесс в плоском элементе. Ограничиваясь в рядах общего уравнения конечным числом первых слагаемых, получаем приближенные уравнения колебания того или иного плоского элемента. Далее в работе рассматривается ряд задач колебания плоских прямоугольных элементов при произвольных граничных условиях по краям элемента с целью определения частот собственных колебаний методом Бленда и Филиппова. Этот метод приближенный позволяет находить частоты собственных колебаний плоских элементов. Изложили постановку метода на случай плоского элемента, когда материал элемента упругий. В дальнейшем метод будет применяться и для элементов из вязкоупругого материала.

Ключевые слова: колебания плоских элементов, точка перемещения, напряжения частоты, уравнения гиперболического типа, фазовая скорость, частотное уравнение, гармонические волны.

Введение

Плоские пластинки прямоугольной формы являются одними из основных элементов конструкций и сооружений.

При решении прикладных задач колебания прямоугольных плоских элементов возникает широкий класс задач колебаний, связанных с различными краевыми задачами: приближенными уравнениями колебания, различными граничными условиями на краях плоского элемента и начальными условиями. В теории колебания важным моментом является определение частот собственных колебаний, решение задач о вынужденных колебаниях плоского элемента и исследование распространения гармонических волн в них (Филиппов, 1983).

Большинство задач по определению частот собственных колебаний плоских элементов, шарнирно опертых по краям и на основе приближенных теорий, полученных на основе гипотез и предположений механического и геометрического характера, в частности, на основе приближенных уравнений типа уравнения Кирхгофа параболического типа, плохо описывающих волновой и колебательный характер поведения плоского элемента при нестационарных внешних воздействиях.

При исследовании гармонических волн в деформируемых телах вводится понятие фазовой скорости как скорости изменения состояния среды, при этом фазовая скорость выражается через частоты собственных колебаний и поэтому исследование распространения гармонических волн имеет прямое отношение к проблемам определения собственных форм и частот колебание ограниченных в плане плоских элементов.

В настоящей работе приводятся результаты по исследованию собственных и вынужденных колебаний плоских элементов с учётом слоистости материала элемента, реологических вязких свойств, влияния окружающей среды, деформируемого основания, анизотропии и т.д.

Влияние указанных факторов значительно затрудняет исследование задач о собственных и вынужденных колебаниях плоского элемента, о распространении в них гармонических волн.

Материалы и основные методы

В общей постановке считается, что плоский элемент слоистый, верхняя и нижняя поверхности которого ограничены функциями $z = F_1(x, y)$ и $z = -F_2(x, y)$ соответственно. В плоскости (x, y) плоский элемент неограничен. К верхней и нижней поверхностям в момент $t = 0$ прикладываются нестационарные внешние усилия

$$\sigma_{zz}^{\pm} = f_z^{\pm}(x, y, t); \sigma_{jz}^{\pm} = f_{jz}^{\pm}(x, y, t) (z = F_1, F_2) (j = x, y). \quad (1)$$

Теория колебания и методика расчета колебаний плоского элемента строится на основе рассмотрения плоского элемента в трехмерной постановке механики твердого деформированного тела, при тех же граничных и начальных условиях. Трехмерная задача решается с использованием методов интегральных преобразований Фурье и Лапласа. В преобразованиях строятся общие решения трехмерной динамической задачи. (Филиппов, 1989)

Рассмотрим ряд задач колебания плоских прямоугольных элементов при произвольных граничных условиях по краям элемента с целью определения частот собственных колебаний методом декомпозиции.

Изложим постановку метода на случай плоского элемента, когда материал элемента упругий. В дальнейшем метод будем применять и для элементов из вязкоупругого материала.

В случае плоского элемента из упругого материала приближённое уравнение поперечного колебания четвёртого порядка запишем в виде

$$\Delta^2 W_0 + D_0 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 \Delta W_0 + \xi^2 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \left[D_1 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 - D_2 \right] W_0 = 0 \quad (4)$$

Для применения метода декомпозиции удобнее ввести новые независимые и зависимые переменные

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\pi}{l_1} x; & \beta &= \frac{\pi}{l_2} y; & W_0 &= \frac{l_1^4}{\pi^4} v; \\ \lambda &= \frac{l_1}{l_2}; & \lambda_1 &= \frac{l_1}{\pi h} \end{aligned} \quad (5)$$

В переменных (5) уравнение (4) принимает вид

$$\begin{aligned} &\left[\frac{\partial^4 v}{\partial \alpha^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 v}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \lambda^4 \frac{\partial^4 v}{\partial \beta^4} \right] + \lambda_1^2 D_0 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 \left[\frac{\partial^2 v}{\partial \alpha^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 v}{\partial \beta^2} \right] + \lambda_1^4 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 \times \\ &\times \left[D_1 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 - D_2 \right] v = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Метод декомпозиции в теории колебания в общей постановке сводится к следующему.

Формулируется постановка вспомогательных задач. (Seitmuratov, 2017).

а) Найти решение уравнения

$$\frac{\partial^4 v_1}{\partial \alpha^4} = f^{(1)}(\alpha, \beta) \quad (7)$$

при граничных условиях

$$L_1(\alpha, \beta) = 0; \quad L_2(\alpha, \beta) = 0; \quad (\alpha = 0; \pi) \quad (8)$$

б) Найти решение уравнения

$$\lambda^4 \frac{\partial^4 v_2}{\partial \beta^4} = f^{(2)}(\alpha, \beta) \quad (9)$$

при граничных условиях

$$L_3(\alpha, \beta) = 0; \quad L_4(\alpha, \beta) = 0; \quad (\beta = 0; \pi) \quad (10)$$

Граничные условия на краях пластинки зависят от условий её закрепления или на свободном крае от напряжений.

в) Оставшаяся часть уравнения (6)

$$\begin{aligned} &2\lambda \frac{\partial^4 v_3}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \lambda D_0 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 \left(\frac{\partial^2 v_3}{\partial \alpha^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 v_3}{\partial \beta^2} \right) + \lambda_1^4 D_0 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 \left[D_1 \left(\frac{b}{h}\right)^2 \xi^2 - D_2 \right] v_3 + \\ &+ f^{(1)}(\alpha, \beta) + f^{(2)}(\alpha, \beta) = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где $f^{(j)}(\alpha, \beta)$ произвольные функции, вид которых зависит от решаемых краевых задач.

Следуя методу декомпозиции, будем считать, что

$$v_3 = \frac{1}{2}[v_1 + v_2] \quad (12)$$

и условие должно выполняться в заданных точках плоского элемента.

Общие решения уравнений вспомогательных задач (7) и (9) имеют вид

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta) + \frac{\alpha^3}{6}\varphi_1(\beta) + \frac{\alpha^2}{2}\varphi_2(\beta) + \alpha\varphi_3(\beta) + \varphi_4(\beta); \quad (13)$$

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta) + \frac{\beta^3}{6}\psi_1(\alpha) + \frac{\beta^2}{2}\psi_2(\alpha) + \beta\psi_3(\alpha) + \psi_4(\alpha);$$

где φ_j, ψ_j произвольные функции аргументов и определяются из граничных условий (8) и (10).

В дальнейшем произвольные функции в общем виде представим как

$$f^{(j)}(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} a_{n,m}^{(j)} \sin(\alpha n) \sin(\beta m), \quad (14)$$

где $a_{n,m}^{(j)}$ произвольные постоянные, а функции $f_j(\alpha, \beta)$ в общих решениях (13) равны

$$f_1(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(j)}}{n^4} \sin(\alpha n) \sin(\beta m);$$

$$f_2(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^4} \sin(\alpha n) \sin(\beta m). \quad (15)$$

Используя частные решения задач при заданных граничных условиях и используя приближённые представления (12), для нахождения неизвестных $a_{n,m}^{(j)}$ получаем однородную линейную систему алгебраических уравнений, нетривиальное решение которых приводит к частотному уравнению. (Ashirbayev, 2018; Seitmuratov, 2017).

Результаты

Проиллюстрируем метод декомпозиции на ряде частных краевых задач колебания плоского элемента.

Анализ решения некоторых задач

Рассмотрим простейшую задачу, когда все края шарнирно опёрты.

Граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned} v_1 = \frac{\partial^2 v_1}{\partial \alpha^2} = 0 \quad (\alpha = 0; \pi); \\ v_2 = \frac{\partial^2 v_2}{\partial \beta^2} = 0 \quad (\beta = 0; \pi), \end{aligned} \quad (16)$$

удовлетворяя которым общие решения (12), получим

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta); \quad \lambda^4 v_2 = f_2(\alpha, \beta) \quad (17)$$

или частные решения равны

$$\varphi_j(\beta) = \psi_j(\alpha = 0) \quad j = (1, \dots, 4)$$

Удовлетворения решения (17) условиям (12) и уравнению (11), для частоты ξ получаем уравнение

$$B_0 \xi^4 + \frac{2B_0}{\tau_0} \xi^3 + \left(1 + \frac{B_0}{\tau_0^2} + B_1 \gamma\right) \xi^2 + \frac{1}{\tau_0} (1 + B_1 \gamma) \xi + B_2 \gamma^2 = 0 \quad (18)$$

Таким образом, приближённый метод декомпозиции даёт тот же результат, что и точный прямой метод (Таймуратова, 2023; Seitmuratov, 2017). Следовательно, метод декомпозиции можно с достаточной степенью достоверности применять при решении и других краевых задач. (Pshenichnov, 1985; Aladag, 2012),

Жёстко закреплённая пластинка по краям. Граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned} v_1 = \frac{\partial v_1}{\partial \alpha} = 0 \quad (\alpha = 0; \pi); \\ v_1 = \frac{\partial v_2}{\partial \beta} = 0 \quad (\beta = 0; \pi); \end{aligned} \quad (19)$$

Используя общие решения (13) и граничные (19), для искомым величин V_1, V_2 получаем выражения

$$\begin{aligned} v_1 = f_1(\alpha, \beta) - \frac{\alpha^3}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^3} [1 + (-1)^n] \sin(\beta m) + \\ + \frac{\alpha^2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^3} [2 + (-1)^n] \sin(\beta, m) - \alpha \frac{\alpha^3}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^3} \sin(\beta m); \\ v_2 = f_2(\alpha, \beta) - \frac{\beta^3}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{m^3} [1 + (-1)^m] \sin(\alpha m) + \\ + \frac{\beta^2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{m^3} [2 + (-1)^m] \sin(\alpha m) - \beta \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{m^3} \sin(\alpha n). \end{aligned} \quad (20)$$

Ограничимся первыми коэффициентами в рядах произвольных функций (14) и условием $v_1 = v_2$; $(\alpha, \beta) = \frac{\pi}{2}$, получаем систему алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} & \left[a_{1,1}^{(1)} + \lambda^{-4} a_{1,1}^{(2)} \right] \left\{ \lambda^2 \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) + \frac{(2-\gamma)}{2} \lambda_1^2 \xi^2 \left[\frac{2}{\pi} - 1 + \lambda^2 \left(\frac{\pi}{4} - 1 \right) \right] \right\} + \\ & + \frac{1}{2} \lambda_1^4 \xi^2 \left[\frac{(7-8\nu)}{8} \xi^2 - \frac{3(1-\nu)}{2} \right] \left\{ \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) + \frac{1}{2} \right\} = 0; \\ & a_{1,1}^{(1)} = \lambda^{-4} a_{1,1}^{(2)} \end{aligned} \quad (21)$$

Нетривиальное решение системы (21) к частотному уравнению

$$\begin{aligned} & \lambda_1^4 \frac{(7-8\nu)}{8} \xi^4 - \frac{\lambda_1^2}{2} \left[3 - (1-\nu)\lambda_1^2 + (2-\nu) \left(2 - \frac{1}{\pi} \right) (1 + \lambda^6) \right] \xi^2 + \\ & + \left[2\lambda^2 \left(1 - \frac{1}{\pi} \right) + (1 + \lambda^4) \right] = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Края пластинки $\beta = 0$; $\beta = \pi$ жёстко закреплены, а края $\alpha = 0$; $\alpha = \pi$ свободны от напряжений, т.е. имеем граничные условия

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 v_1}{\partial \alpha^2} + Q_0 v_1 = 0; \quad \frac{\partial^3 v_1}{\partial \alpha^3} = 0, \quad (\alpha = 0; \pi) \\ & Q_0 = \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \left[2\lambda^2 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} + \lambda_1^2 \xi^2 \right]; \\ & v_2 = \frac{\partial v^2}{\partial \beta} = 0 \quad (\beta = 0; \pi) \end{aligned} \quad (23)$$

Решение задачи для определения V_2 имеет вид (20).

Для нахождения неизвестной функции V_1 из граничных условий

$$\frac{\partial^3 v_1}{\partial \alpha^3} = 0 \quad \text{при} \quad \alpha = 0; \pi$$

Получаем

$$\varphi_1 = - \frac{\partial^3 f_1}{\partial a^3} \Big|_{a=0}; \quad \varphi_1 = - \frac{\partial^3 f_1}{\partial a^3} \Big|_{a=\pi}; \quad (24)$$

которые выполнимы при $n = 2q$, т.е. нечётные значения неизвестных $a_{n,m}^{(1)}$ необходимо положить равными нулю.

Условия (23) при $\alpha = 0; \pi$ приводят к системе

$$\begin{aligned} & [\pi\varphi_1 + \varphi_2] + \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu}\right) \left[\left(\frac{\pi^3}{6} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial \beta^2} + \frac{\pi^2}{2} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \beta^2} + \pi \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial \beta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \beta^2} \right) + \right. \\ & \left. + \lambda_1^2 \xi^2 \left(\frac{\pi^3}{6} \varphi_1 + \frac{\pi^2}{2} \varphi_2 \pi \varphi_3 + \varphi_4 \right) \right] = 0 \\ & \varphi_2 = - \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \left(\frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \beta^2} + \lambda_1^2 \xi^2 \varphi_4 \right) \end{aligned} \quad (25)$$

Два уравнения (25) связывают три неизвестные функции. Так как ищем частные решения задач, то не ограничивая общности, неизвестную функцию φ_3 можно положить равной

Из системы (25) получаем уравнение для φ_3 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 \varphi_4}{\partial \beta^4} + 2\lambda_1^2 \xi^2 \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \beta^2} + \lambda_1^4 \xi^4 \varphi_4 = - \frac{2}{\pi} \left(\frac{7-4\nu}{3-2\nu} \right)^2 \left\{ \pi \left[1 + \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \frac{\pi^2}{6} \lambda_1^2 \xi^2 \right] \frac{\partial^3 f_1}{\partial \alpha^2} \Big|_{\alpha=0} + \right. \\ \left. + \frac{\pi^3}{6} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \frac{\partial^5 f_1}{\partial \alpha^3 \partial \beta^2} \Big|_{\alpha=\pi} \right\}, \end{aligned} \quad (26)$$

частное решение которого равно

$$\varphi_4 = \sum_{q=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} a_{2q,m}^{(1)} A_{q,m}^{(1)} \sin(\beta m), \quad (27)$$

где

$$A_{q,m}^{(1)} = \frac{(m^2 - 1)}{2q} (m^4 - 2m^2 \lambda_1^2 \xi^4)^{-1} \quad (28)$$

Ограничиваясь первыми слагаемыми $a_{2,1}^{(1)}$; $a_{1,1}^{(2)}$, как и в предыдущей задаче получаем частотное уравнение

$$\begin{aligned} \frac{\pi^2}{192} \lambda_1^4 (7-8\nu) \xi^4 - \left\{ \left(\frac{2-\nu}{2} \right) \lambda_1^2 \left[\left(\frac{\pi^2}{24} - 1 \right) + \frac{\lambda^2 \pi^2 \left(2 - \frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right)}{24 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)} \right] - \frac{3(1-\nu)}{48} \lambda_1^4 \pi^2 \right\} \xi^2 + \\ + \left\{ \lambda^2 \left[\frac{\pi^2 \left(1 - \frac{2}{\pi} \right)}{24 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)} - 1 \right] + \left[1 - \lambda^4 \frac{\pi^3}{48 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)} \right] \right\} = 0 \end{aligned} \quad (29)$$

Края пластинки ($\beta = 0; \pi$); $\alpha = 0$ жёстко защемлены, а край $\alpha = \pi$ свободен от напряжений.

В этой задаче искомая функция V_2 определена в предыдущих задачах, а V_1 равна

$$v_1 = f_1(\alpha, \beta) + \frac{a^3}{6} \varphi_1(\beta) + \frac{a^2}{2} \varphi_2(\beta) + a \varphi_3 \beta;$$

$$\varphi_4 = 0; \quad \varphi_1 = -\frac{\partial^3 f_1}{\partial a^3} \Big|_{a=\pi}; \quad \varphi_3 = -\frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0}; \quad (30)$$

где

$$\frac{\pi^2}{2} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \beta^2} + \left[1 + \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \frac{\pi^2}{2} \lambda_1^2 \xi^2 \right] \varphi_2 =$$

$$= \left[\pi \frac{\partial^3 f_1}{\partial a^3} \Big|_{a=\pi} + \frac{\pi^3}{6} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \frac{\partial^5 f_1}{\partial a^3 \partial \beta^2} \Big|_{a=\pi} + \right. \quad (31)$$

$$\left. + \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \pi \frac{\partial^3 f_1}{\partial a^3} \Big|_{a=\pi} + \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \pi \lambda_1^2 \xi^2 \frac{\partial f_1}{\partial \alpha} \Big|_{a=0} \right]$$

Как и в предыдущих задачах получаем частотное уравнение

$$\lambda^2 \left[\left(1 + \frac{\pi}{2} - B_1 + C_1 \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) \right) + \frac{(2-\nu)}{2} \lambda_1^2 \xi^2 \left\{ \left[\left(B_1 - \frac{\pi}{2} - 1 \right) - \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. - C_1 \left(1 + \frac{\pi}{2} \right) \right] + \lambda^2 \left[- \left(1 - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi^3}{48} + \frac{\pi^2}{8} B_1 \right) + C_1 \left(\frac{2}{\pi} - 1 \right) \right] \right\} +$$

$$+ \lambda_1^4 \xi^2 \left[\left(\frac{7-8\nu}{8} \right) \xi^2 - \frac{3}{2} (1-\nu) \right] \left[\left(1 - \frac{\pi^3}{48} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi^2}{48} B_1 \right) + \right. \quad (32)$$

$$\left. + C_1 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \right] + (1 + C_1 \lambda^4) = 0;$$

где B_1, C_1 равны

$$B_1 = \left[\frac{\pi}{4} - \frac{\pi^3}{6} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) - \pi \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) + \pi \lambda_1^2 \xi^2 \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \right] \times$$

$$\times \left[1 + \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \lambda_1^2 \xi^2 - \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{3-2\nu}{7-4\nu} \right) \right]^{-1};$$

$$C_1 = \left(1 - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi^3}{48} + \frac{\pi^2}{8} B_1 \right) \left(1 - \frac{\pi}{4} \right)^{-1} \quad (33)$$

Частотное уравнение (32) определяет три частоты в отличие от предыдущих, что связано, по-видимому, с тем, что край $\alpha = \pi$ свободен то напряжений и

происходит отражение волн от края $\alpha = 0$, жёстко закреплённого (Uberal,1973; Гринченко,1981).

Рассмотрим задачу о собственных колебаниях прямоугольной пластинки из упругого материала на основе приближённого уравнения шестого порядка. Ограничимся частной краевой задачей, когда все четыре края пластинки жёстко закреплены. Задача сводится к решению уравнения

$$P_0(W) + \frac{h^2}{120} [P^3(N^{-2} + 10N^{-1} + 5M^{-2}) \frac{\partial^6 W}{\partial t^6} - 4p^2(3N^{-1} + 9M^{-1} - 4MN^{-2}) \times \\ \times \Delta \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} + 16p(4 + 3MN^{-1} - M^2 N^{-2}) \Delta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} - 32M(1 - MN^{-1}) \Delta^3 W] = \Phi(\varphi_z, f_{tz}) \quad (34)$$

при правой части, равной нулю, при этом, вязкоупругие операторы заменяем упругими постоянными.

Решение задачи, как и ранее, ищем в виде

$$W(x, y, t) = \exp\left(i \frac{b}{h} \xi t\right) W_0(x, y) \quad (35)$$

и для определения величины W_0 получаем уравнение

$$\Delta^3 W_0 + D_0 \Delta^2 W_0 + D_1 \Delta W_0 + D_2 W_0 = 0 \quad (36)$$

где коэффициенты D_0, D_1, D_2 равны

$$D_0 = \frac{24\nu^2 - 46\nu + 21}{4h^2(1-\nu)} \xi^2 - \frac{5}{h^2}; \quad (37)$$

$$D_1 = \frac{(14\nu^2 - 37\nu + 19)}{8h^4(1-\nu)} \xi^4 - \frac{5(2-\nu)}{h^4} \xi^2;$$

$$D_2 = \frac{(64\nu^2 - 104\nu + 41)}{64h^6(1-\nu)} \xi^6 - \frac{5(7-8\nu)}{8h^6} \xi^4 + \frac{15(1-\nu)}{2h^6} \xi^2;$$

ν - коэффициент Пуассона, определяемый по формуле

$$\frac{\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{b^2}{a^2} = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \quad (38)$$

Граничные условия задачи при жёстком закреплении имеют вид

$$\nu = \frac{\partial \nu}{\partial r} = \frac{\partial^2 \nu}{\partial r^2} = 0; (\eta = x, y; x = 0) \\ \left[\frac{\partial^6 \nu}{\partial a^6} + 3\lambda^2 \frac{\partial^6 \nu}{\partial a^4 \partial \beta^2} + 3\lambda^4 \frac{\partial^6 \nu}{\partial a^2 \partial \beta^4} + \lambda^6 \frac{\partial^6 \nu}{\partial \beta^6} \right] + Q_0 \lambda_1^2 \left[\frac{\partial^4 \nu}{\partial a^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 \nu}{\partial a^2 \partial \beta^2} + \lambda^4 \frac{\partial^4 \nu}{\partial \beta^4} \right] + \\ + Q_1 \lambda_1^4 \left[\frac{\partial^2 \nu}{\partial a^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 \nu}{\partial \beta^2} \right] + Q_2 \lambda_1^6 \nu = 0 \quad (39)$$

где коэффициенты Q_0, Q_1, Q_2 равны

$$\begin{aligned} Q_0 &= D_0 h^2; \\ Q_1 &= D_1 h^4; \\ Q_2 &= D_2 h^6. \end{aligned} \quad (40)$$

Следуя методу декомпозиции, сформулируем вспомогательные задачи (Oliver, 1959), (Комиссарова, 1990).

определить V_1 , удовлетворяющую уравнению и граничным условиям

$$\begin{aligned} \frac{\partial^6 v_1}{\partial a^6} &= f^{(1)}(a, \beta); & v_1 &= \frac{\partial v_1}{\partial a} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial a^2} = 0 \\ (a &= 0; \pi); \end{aligned} \quad (41)$$

определить V_2 , удовлетворяющую условиям

$$\begin{aligned} \lambda^6 \frac{\partial^6 v_2}{\partial \beta^6} + f^{(2)}(a, \beta); & & v_2 &= \frac{\partial v_2}{\partial \beta} = \frac{\partial^2 v_2}{\partial \beta^2} = 0 \\ (\beta &= 0; \pi) \end{aligned} \quad (42)$$

Оставшуюся часть уравнения (39) запишем относительно неизвестной V_3 , удовлетворяющей условиям (11):

$$\begin{aligned} 3\lambda^2 \left[\frac{\partial^6 v_3}{\partial a^4 \partial \beta^2} + \lambda^2 \frac{\partial^6 v_3}{\partial a^2 \partial \beta^4} \right] + Q_0 \lambda_1^2 \left[\frac{\partial^4 v_3}{\partial a^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 v_3}{\partial a^2 \partial \beta^2} + \lambda^2 \frac{\partial^4 v_3}{\partial \beta^4} \right] + \\ + Q_1 \lambda_1^4 \left[\frac{\partial^2 v_3}{\partial a^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 v_3}{\partial \beta^2} \right] + Q_2 \lambda_1^6 v_3 + f^{(1)}(a, \beta) + f^{(2)}(a, \beta) = 0; \end{aligned} \quad (43)$$

$$f^{(j)}(a, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} a_{n,m}^{(j)} \sin(na) \sin(m\beta).$$

Общие решения уравнений вспомогательных задач (41) и (42) имеют вид

$$v_1 = f_1(a, \beta) + \frac{a^5}{5!} \varphi_1(\beta) + \frac{a^3}{3!} \varphi(\beta) + \frac{a^2}{2!} \varphi_4(\beta) + a \varphi_5(\beta) + \varphi_6(\beta); \quad (44)$$

$$\lambda^6 v_2 = f_2(a, \beta) + \frac{\beta^5}{5!} \psi_1(\beta) + \frac{\beta^4}{4!} \psi_2(\beta) + \frac{\beta^3}{3!} \psi_3(\beta) + \frac{\beta^2}{2!} \psi_4(\beta) + \beta \psi_5(\beta) + \psi_6(\beta);$$

где функции $f_j(a, \beta)$ имеют вид

$$\begin{aligned} f_1(a, \beta) &= - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^6} \sin(na) \sin(m\beta); \\ f_2(a, \beta) &= - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^6} \sin(na) \sin(m\beta); \end{aligned} \quad (45)$$

Исходя из граничных условий для определения $\psi_j(\beta), \psi_j(a)$ и выражений (45), находим

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \frac{360}{\pi^4} \left[\frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right]; \\ \varphi_2 &= \frac{24}{\pi^3} \left[8 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + 7 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right]; \\ \varphi_3 &= \frac{12}{\pi^2} \left[\frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + 2 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right];\end{aligned}\tag{46}$$

$$\varphi_4 = 0; \quad \varphi_5 = \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0}; \quad \varphi_6 = 0$$

и

$$\begin{aligned}\psi_1 &= \frac{360}{\pi^4} \left[\frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right]; \\ \psi_2 &= -\frac{24}{\pi^3} \left[8 \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + 7 \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right]; \\ \psi_3 &= \frac{12}{\pi^2} \left[3 \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + 2 \frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right]; \\ \psi_4 &= 0; \psi_5 = -\frac{\partial \beta_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0}; \psi_6 = 0\end{aligned}\tag{47}$$

при этом

$$\begin{aligned}\frac{\partial \beta_1}{\partial a} \Big|_{a=0} &= -\sum_{b=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^5} \sin(\beta m); \\ \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} &= -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^5} \sin(\beta m); \\ \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} &= -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^5} \sin(an); \\ \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} &= -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^5} \sin(an);\end{aligned}\tag{48}$$

Если в рядах (45) ограничиться только первыми слагаемыми, (Owen, 1964) то из условия $V_1 = V_2$ при $(a, \beta) = -\frac{\pi}{2}$ получаем $a_{1,1}^{(1)} = \lambda^{-6} a_{1,1}^{(2)}$.

Использую условия и (42) и уравнение (43) относительно v_3 и полагая

$$v_3 = \frac{1}{2}[v_1 + v_2]$$

получаем характеристическое уравнение $\left(a, \beta = \frac{\pi}{2}\right)$

$$2\lambda_1^6 \left(1 - \frac{5\pi}{16}\right) Q_2 - \lambda_1^4 (1 + \lambda^2) \left(2 - \frac{3}{\pi} - \frac{5\pi}{16}\right) Q_1 + \lambda_1^2 \left[(1 + \lambda^4) \left(2 - \frac{24}{\pi^3} - \frac{5\pi}{16}\right) + 4\lambda^2 \left(1 - \frac{3}{\pi}\right) \right] Q_0 - \left[2(1 + \lambda^6) + 3\lambda^2 (1 + \lambda^2) \left(2 - \frac{3}{\pi} - \frac{24}{\pi^3}\right) \right] = 0 \quad (49)$$

относительно частоты ξ шестого порядка, приближённо описывающее три первые частоты собственных колебаний.

Другие краевые задачи решаются аналогично.

Заключение

Если все четыре края произвольно закреплены, то получить точные частотные уравнения не представляются возможным.

Для таких задач можно успешно применять приближённый метод получения частотных уравнений на основе метода декомпозиции, развитого в работах профессора Г.И. Пшеничного для задач статики.

Решенная задач колебания плоских прямоугольных элементов при произвольных граничных условиях по краям элемента с целью определения частот собственных колебаний методом Бленда и Филиппова позволяет находить частоты собственных колебаний плоских элементов. Задачи для вязкоупругого материала плоского элемента решаются аналогично. Изложили постановку метода на случай плоского элемента, когда материал элемента упругий. В дальнейшем метод будем применяться и для элементов из вязкоупругого материала.

Таким образом, приближённый метод декомпозиции позволяет находить частоты собственных колебаний плоских элементов. Общее решение относится к уравнению гиперболического типа, которое и описывает колебательный и волновой процесс в плоском элементе. Ограничиваясь в рядах общего уравнения конечным числом первых слагаемых, получаем приближенные уравнения колебания того или иного плоского элемента. Задачи для вязкоупругого материала плоского элемента решаются аналогично.

Литература

- Филиппов И.Г. (1983) К нелинейной теории вязкоупругих изотропных сред //Прикладная механика. – 1983. - Т.19. - № 3. – С. 3-8.
- Филиппов И.Г., Филиппов С.И. (1989) Уравнения колебания кусочно-однородной пластинки переменной толщины //МТТ. – 1989. - № 5. - С.149-157.
- Филиппов И.Г., Филиппов С.И., Костин В.И. (1995) Динамика двумерных композитов //Труды Международной конференции по механике и материалам. – 1995. - С.75-79.
- Seitmuratov A., Medeubaev N., Yeshmurat G., Kudebayeva G. (2018) Approximate solution of the an

elastic layer vibration task being exposed of moving load //News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-mathematical series. – 2018. – Volume 2, No. 318. - 54-60 p.

Seitmuratov A.Zh., Nurlanova B.M., Medeubaev N.K. (2017) Equations of vibration of a two-dimensionally layered plate strictly based on the decision of various boundary-value problems //Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series. - 2017. No. 3(87). - 109-116 p.

Ashirbayev N., Ashirbayeva Zh., Sultanbek T., Shomanbayeva M. (2018) Waves of elastic stresses in the doubly-connected domain //Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series. – 2018. No. 2(90). - 18-25 p.

Seytmuratov A.Z., Zharylgapova D.M., Medeubaev N.K., Ibraeva A.A. (2017) Applied tasks of plates fluctuation under more difficult boundary conditions //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2017. – No. 3(423). - 228-236 p.

Таймуратова Л.У., Жунісов Д.Ж. (2023) Физикадағы виртуальды эксперименттер //Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті хабаршысы. Математика, физика және информатиканы оқытудың өзекті мәселелері. – 2023. - Т.1, № 1. – Б. 60-67. <https://doi.org/10.52081/mpimet.2023.v01.i1.007>

Seitmuratov A., Ramazanov M., Medeubaev N., Kaliev B. (2017) Mathematical theory of vibration of elastic or viscoelastic plates, under non-stationary external influences //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. - 2017. - No. 4(320). - 5-14 p.

Aladag B., Halelfadl S., Doner N., Maré T., Duret S. & Estellé P. (2012) Experimental investigations of the viscosity of nanofluids at low temperatures //Applied energy. - 2012. - 97. – P. 876–880. DOI: 10.1016/j.apener-gy.2011.12.101

Pshenichnov G.I. Decomposition method for solving the equation and boundary value problems //M. DAN USSR. – 1985. - v.182, № 4. - P.792-794.

ÜBERALL H. (1973) Surface Waves in Acoustics //Physical Acoustics. -1973. Volume 10. - P. 1–60.

Гринченко В.Т. (1981) Гармонические колебания и волны в упругих телах. – К.: Наук.думка. - 1981. – 284 с.

Комиссарова Г.Л. (1990) К решению задачи о распространении волн в цилиндре с жидкостью //Прикладная механика. – 1990. – 26. № 8. – С. 25–29.

Oliver J. (1962) A summary of observed seismic surface wave dispersion //Bulletin of the Seismological Society of America. – 1962. No. 52 (1) - 81–86 p. <https://doi.org/10.1785/BSSA0520010081>

Owen T.E. (1964) Surface wave phenomena in ultrasonics //Progr. Appl. Matter. Resch. – 1964. – 6. – P. 69–87.

References

Filippov I.G. (1983) К нелинейной теории вязкоупругих изотропных сред //Прикладная механика. – 1983. - Т.19. - № 3. – С. 3-8. (in Rus.)

Filippov I.G., Filippov S.I. (1989) Уравнения колебания кусочно-однородной пластинки переменной толщин //МТТ. – 1989. - № 5. - С.149-157. (in Rus.)

Filippov I.G., Filippov S.I., Kostin V.I. (1995) Динамика двумерных композитов //Trudy Mezhdunarodnoj konferencii po mehanike i materialam. – 1995. - S.75-79. (in Rus.)

Seitmuratov A., Medeubaev N., Yeshmurat G., Kudabayeva G. (2018) Approximate solution of the an elastic layer vibration task being exposed of moving load //News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-mathematical series. – 2018. – Volume 2, No. 318. - 54-60 p. (in Eng.)

Seitmuratov A.Zh., Nurlanova B.M., Medeubaev N.K. (2017) Equations of vibration of a two-dimensionally layered plate strictly based on the decision of various boundary-value problems //Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series. - 2017. No. 3(87). - 109-116 p. (in Eng.)

Ashirbayev N., Ashirbayeva Zh., Sultanbek T., Shomanbayeva M. (2018) Waves of elastic stresses in the doubly-connected domain //Bulletin of the Karaganda university. Mathematics series. – 2018. No. 2(90). - 18-25 p. (in Eng.)

Seytmuratov A.Z., Zharylgapova D.M., Medeubaev N.K., Ibraeva A.A. (2017) Applied tasks of plates fluctuation under more difficult boundary conditions //News of the National Academy of Sciences of the

Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2017. – No. 3(423). - 228-236 p. (in Eng.)

Tajmuratova L.U., Zhunisov D.Zh. (2023) Fizikadary virtual'dy jeksperimentter //Korkyt Ata atyndary Kyzylorda universiteti habarshysy. Matematika, fizika zhane informatikany okytudyń ozekti maselerleri. – 2023. - T.1, № 1. – B. 60-67. <https://doi.org/10.52081/mpimet.2023.v01.i1.007> (in Kaz.)

Seitmuratov A., Ramazanov M., Medeubaev N., Kaliev B. (2017) Mathematical theory of vibration of elastic or viscoelastic plates, under non-stationary external influences //News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. - 2017. - No. 4(320). - 5-14 p. (in Eng.)

Aladag B., Halefadi S., Doner N., Maré T., Duret S. & Estellé P. (2012) Experimental investigations of the viscosity of nanofluids at low temperatures //Applied energy. - 2012. - 97. – P. 876–880. DOI: 10.1016/j.apener-gy.2011.12.101 (in Eng.)

Pshenichnov G.I. Decomposition method for solving the equation and boundary value problems //M. DAN USSR. – 1985. - v.182, № 4. - P.792-794. (in Eng.)

ÜBERALL H. (1973) Surface Waves in Acoustics //Physical Acoustics. -1973. Volume 10. - P. 1–60. (in Eng.)

Grinchenko V.T. (1981) Garmonicheskie kolebanija i volny v uprugih telah. – K.: Nauk.dumka. - 1981. – 284 s. (in Rus.)

Komissarova G.L. (1990) K resheniju zadachi o rasprostranenii voln v cilindre s zhidkost'ju // Prikladnaja mehanika. – 1990. – 26. № 8. – S. 25–29. (in Rus.)

Oliver J. (1962) A summary of observed seismic surface wave dispersion //Bulletin of the Seismological Society of America. – 1962. No. 52 (1) - 81–86 p. <https://doi.org/10.1785/BSSA0520010081> (in Eng.)

Owen T.E. (1964) Surface wave phenomena in ultrasonics //Progr. Appl. Matter. Resch. – 1964. – 6. – P. 69–87. (in Eng.)

FTMP 29.15.33

ӘОЖ 539.1

A.A. Zhadyranova¹, ©V. Zhumabekova^{2*}, U. Ismail¹, D. Nassirova², 2024.

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: zh.venera@mail.ru

EXPLORING THE POTENTIAL OF YUKAWA USING THE FIZO EFFECT

Zhadyranova Aliya PhD, senior lecturer of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com, Orcid: 0000-0003-1153-3438;

Zhumabekova Venera PhD, senior lecturer of the department of theoretical and nuclear physics, Al Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan, E-mail: zh.venera@mail.ru, Orcid:0000-0002-7223-5373;

Ismail Umit – student of the department of general and theoretical physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: umitismail848@gmail.com, Orcid: 0009-0003-4881-6244;

Nassirova Diana - PhD, senior lecturer of the department of Physics, Abai Kazakh national pedagogical university, 1Almaty, Kazakhstan, E-mail: diana-nasirova@mail.ru, Orcid:0000-0002-3349-0128.

Abstract. The purpose of the work is to consider the use of the Fizeau effect to study neutron scattering in the Yukawa potential. By analyzing the s-wave scattering ($\ell = 0$), it is possible to determine the contributions to the p-waves and a higher order in the conditions of environmental motion. The main focus is on the difference in the probability of neutron reflection from a mirror with zero potential and non-zero potential, which leads to new effects associated with exotic gravity. Quantitative methods such as the threshold difference method and the Runge-Kutta method are used to analyze the dynamics of a single particle in the Yukawa potential. The use of the Python programming language provides an effective solution to the equations of motion and the study of the behavior of the system under the action of a given potential. The results show how the exotic gravitational potential affects the wave properties of neutrons and their interaction. The work includes an analysis of the scattering function based on an analytical solution obtained by extending the right side of the equation by a Taylor series. This makes it possible to identify significant dependencies necessary for further theoretical and experimental research.

The results of the study show that the study of neutrons in the context of the Fizeau effect opens up new possibilities for understanding quantum and gravitational interactions. The results obtained can become the basis for further research in the field of particle physics and cosmology, expanding our understanding of the nature of interactions in the

Yukawa model. In addition, part of the calculations and visualization of the results is performed using Python, which allows not only to efficiently process data, but also to create graphical representations that contribute to a deeper understanding of the effects under consideration. The work provides new data and approaches for further research with significant contributions to the field of particle physics.

Keywords: Yukawa potential, Fizeau effect, exotic gravitational fields, Python programming language, wave function, scattering cross-sections.

А.А. Жадыранова¹, ©В. Жумабекова^{2*}, У. Исмаил¹, Д. Насирова², 2024.

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: zh.venera@mail.ru

ФИЗО ЭФФЕКТИСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЮКАВА ПОТЕНЦИАЛЫН ЗЕРТТЕУ

Жадыранова Алия - PhD, Жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com, Orcid: 0000-0003-1153-3438;

Жумабекова Венера - PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің теориялық және ядролық физика кафедрасының аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан, E-mail: zh.venera@mail.ru, Orcid: 0000-0002-7223-5373;

Исмаил Үміт – Жалпы және теориялық физика кафедрасының 4 курс студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, E-mail: umitismail848@gmail.com, Orcid: 0009-0003-4881-6244;

Насирова Диана – PhD, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің физика кафедрасының аға оқытушысы, Алматы, Қазақстан, E-mail: diana-nasirova@mail.ru. Orcid: 0000-0002-3349-0128.

Аннотация. Бұл жұмыстың мақсаты Юкава потенциалындағы нейтрондардың шашырауын зерттеу үшін Физо эффектін қолдануды қарастырады. s -толқындық шашырауды ($\ell=0$) талдай отырып, p -толқындарына үлестерді және қоршаған орта қозғалысы жағдайында жоғары ретті анықтауға мүмкіндік береді. Нейтрондардың нөлдік потенциалды және нөлдік емес потенциалды айнадан шағылысу ықтималдығының айырмашылығына назар аударылады, бұл экзотикалық гравитацияға байланысты жаңа әсерлерге әкеледі. Юкава потенциалындағы жалғыз бөлшектің динамикасын талдау үшін шекті айырмашылықтар әдісі мен Рунге-Кутта әдісі сияқты сандық әдістер қолданылады. Python бағдарламалау тілін қолдану қозғалыс теңдеулерін тиімді шешуді және берілген потенциалдың әсерінен жүйенің әрекетін зерттеуді қамтамасыз етеді. Нәтижелер экзотикалық гравитациялық потенциалдың нейтрондардың толқындық қасиеттеріне және олардың өзара әрекеттесуіне қалай әсер ететінін көрсетеді. Жұмыс теңдеудің оң жағын Тейлор қатарына кеңейту арқылы алынған аналитикалық шешімге негізделген шашырау функциясын талдауды қамтиды. Бұл одан әрі теориялық және эксперименттік зерттеулерге қажетті маңызды тәуелділіктерді анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері нейтрондарды Физо эффектісі аясында зерттеу кванттық және гравитациялық өзара әрекеттесулерді түсінуге жаңа мүмкіндіктер ашатынын көрсетеді. Алынған нәтижелер Юкава моделіндегі өзара әрекеттесу табиғаты туралы түсінігімізді кеңейте отырып, бөлшектер физикасы мен космология саласындағы қосымша зерттеулерге негіз бола алады. Сонымен қатар, есептеулер мен нәтижелерді визуализациялаудың бір бөлігі Python көмегімен жүзеге асырылады, бұл деректерді тиімді өңдеуге ғана емес, сонымен қатар қарастырылып отырған әсерлерді тереңірек түсінуге ықпал ететін графикалық көріністер жасауға мүмкіндік береді. Жұмыс бөлшектер физикасы саласына айтарлықтай үлес қоса отырып әрі қарай зерттеу үшін жаңа деректер мен тәсілдерді ұсынады.

Түйін сөздер: Юкава потенциалы, Физо эффект, экзотикалық гравитациялық өріс, Python бағдарламалау тілі, толқындық функция, шашырау қималары

«Осы зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады грант № AP23484023 Нейтрондардың затпен экзотикалық әрекеттесуін зерттеу»

А.А. Жадыранова¹, ©В. Жумабекова^{2*}, У. Исмаил¹, Д. Насирова², 2024.

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,

Астана, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби,

Алматы, Казахстан.

E-mail: zh.venera@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЮКАВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ФИЗО

Жадыранова Алия Амирбековна – PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, E-mail: a.a.zhadyranova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1153-3438;

Жумабекова Венера – PhD (физики), старший преподаватель кафедры теоретической и ядерной физики КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: zh.venera@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7223-5373;

Исмаил Умит – студент 4 курса кафедры общей и теоретической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, E-mail: umitismail848@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4881-6244;

Насирова Диана – PhD (физики), старший преподаватель кафедры физики КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан, E-mail: diana-nasirova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3349-0128.

Аннотация. Цель работы заключается в рассмотрении использования эффекта Физо для изучения рассеяния нейтронов в потенциале Юкавы. Анализируя s-волновое рассеяние ($\ell = 0$), можно определить вклады в r-волны и более высокий порядок в условиях движения окружающей среды. Основное внимание уделяется разнице в вероятности отражения нейтронов от зеркала с нулевым потенциалом и ненулевым потенциалом, что приводит к новым эффектам, связанным с

экзотической гравитацией. Количественные методы, такие как метод пороговых различий и метод Рунге-Кутты, используются для анализа динамики одиночной частицы в потенциале Юкавы. Использование языка программирования Python обеспечивает эффективное решение уравнений движения и изучение поведения системы под действием заданного потенциала. Результаты показывают, как экзотический гравитационный потенциал влияет на волновые свойства нейтронов и их взаимодействие. Работа включает анализ функции рассеяния на основе аналитического решения, полученного путем расширения правой части уравнения на ряд Тейлора. Это позволяет выявить существенные зависимости, необходимые для дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Результаты исследования показывают, что изучение нейтронов в контексте эффекта Физо открывает новые возможности для понимания квантовых и гравитационных взаимодействий. Полученные результаты могут стать основой для дальнейших исследований в области физики элементарных частиц и космологии, расширяя наше понимание природы взаимодействий в модели Юкавы. Кроме того, часть вычислений и визуализации результатов выполняется с помощью Python, который позволяет не только эффективно обрабатывать данные, но и создавать графические представления, которые способствуют более глубокому пониманию рассматриваемых эффектов. Работа предоставляет новые данные и подходы для дальнейших исследований со значительным вкладом в область физики элементарных частиц.

Ключевые слова: потенциал Юкавы, эффект Физо, экзотические гравитационные поля, язык программирования Python, волновая функция, сечения рассеяния.

Кіріспе

Соңғы он жылдықтарда материяның кванттық қасиеттерін және кванттық бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесуді зерттеуге қызығушылықтың айтарлықтай өсуі байқалды. Нейтрондарға ерекше назар аударылады, себебі, олар бейтарап бөлшектер бола отырып, кванттық механика мен материяның өзара әрекеттесуінің негізгі аспектілерін зерттеуге мүмкіндік беретін ерекше қасиеттерге ие. Бөлшектердің кванттық деңгейдегі өзара әрекеттесуін зерттеу қазіргі физиканың негізгі міндеттерінің бірі болып қала береді. Атап айтқанда, Юкава потенциалы, нуклондар арасындағы өзара әрекеттесуді сипаттайтын ядролық өзара әрекеттесу мен элементар бөлшектердің динамикасын түсіну үшін өте маңызды. Бұл тұрғыда фазалық ығысуларды талдау үшін нөлдік Нейтрондық Физо эффектісін пайдалану өзекті және қызықты мәселе болып табылады (Frank, 2016).

1859 жылы Физо екі жарық толқыны таралатын ортаның қозғалысына байланысты жарық толқындарының интерференциялық жолақтарының ығысуын көрсететін маңызды эксперимент жүргізді (Hiromoto, 2021). Нәтиже материалдық ортадағы жарық жылдамдығына бақылаушыға қатысты ортаның қозғалысы әсер ететінін көрсетті. Физо экспериментінде жарық көзінен шыққан жарық рефрактометрдің көмегімен екі бөлікке бөлінді. Физо эксперименттері арнайы

салыстырмалылық пайда болғанға дейін жарты ғасырдан астам уақыт бұрын жүргізілген. Қозғалатын ортадағы жарық жылдамдығының өзгеруін сипаттайтын Физо эффектісі оптикалық және гравитациялық жүйелердегі ұқсас процестерді зерттеуге қолданылуы мүмкін (Nandi, 2003). Авторлар қозғалатын ортадағы жарықтың немесе толқындардың әрекетін оптикадағы ұқсастықтар арқылы модельдеуге болатынын көрсетеді.

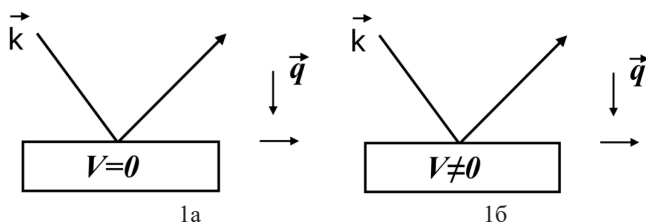
Бөлшектер физикасы мен кванттық механикадағы заманауи зерттеулер микро деңгейдегі өзара әрекеттесу туралы түсінігімізді едәуір кеңейтті. Бұл саладағы негізгі бағыттардың бірі мезон алмасу арқылы бөлшектер арасындағы өзара әрекеттесуді сипаттайтын Юкава потенциалын зерттеу болды (Edwards, 2017). Юкава потенциалы күшті өзара әрекеттесу контекстінде маңызды рөл атқарады және атом ядросындағы нуклондардың әрекетін түсіндіру үшін қолданылуы мүмкін. Соңғы жылдары Юкава потенциалымен байланысты гравитацияның экзотикалық формаларына қызығушылық пайда болды және оның нейтрондардың шашырауына деген қызығушылығы пайда болды (Dongfang, 2021). Экзотикалық гравитацияның космологиялық салдары оның бөлшектердің өзара әрекеттесуіне әсерін түсінуді тереңдетеді. Бұл Юкава потенциалы мен нейтрондардың шашырауын зерттеумен тікелей байланысты (Concha, 2021).

Интерферометриялық эксперименттер материалдық ортаның қозғалысынан туындаған баяу нейтрондардың фазалық ығысуын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл зерттеуде материяның қозғалысы нейтрондардың кванттық күйлеріне қалай әсерететінін түсінуге тырысамыз. Қозғалмалы ортадағы нейтрондардың фазалық ығысуын және олардың шекаралық жағдайларға тәуелділігін зерттеу, сондай-ақ нейтрондардың материямен өзара әрекеттесуін зерттеу жаңа материалдар мен технологияларды әзірлеу саласында маңызды практикалық қолданбаларға ие болуы мүмкін (Ji X, 2021). Зерттеуімізде кванттық шашырау есептерін шешу үшін қолданылатын сандық әдістер одан әрі түсінуге мүмкіндік береді (Gallinet, 2015). Сонымен қатар, зерттеу нейтрондық толқындардың интерференциясының күтпеген әсерін анықтады. Бұл әсерлер кванттық механика саласындағы қосымша зерттеулерге жаңа мүмкіндіктер ашады және субатомдық бөлшектер деңгейіндегі өзара әрекеттесу табиғатын жақсы түсінуге көмектеседі. Сонымен қатар Pythoн бағдарламасын сандық модельдеу және алынған деректерді талдау үшін қолданамыз. Жұмыс барысында Юкаваның ықтимал өзара әрекеттесу контекстінде s -толқындық шашырау ($\ell=0$) үшін шашырау функциясы мен шашырау фазасын есептейміз (Brandes, 2024). Нәтижелер теориялық болжамдарды қолдайды және Юкаваның ықтимал әсерін қалай өлшеуге болатындығын көрсетеді. Зерттеулер нейтрондардың қозғалатын заттар мен өзара әрекеттесуі оптикадағы Физо эффектісіне ұқсас ерекше әсерлерге әкелуі мүмкін екенін көрсетеді. Бұл жұмыс нейтрондардың қозғалысы мен қозғалатын орта арқылы өтетін толқындар арасындағы ұқсастықты қарастырады, бұл кванттық процестерді түсінуге жаңа мүмкіндіктер ашады. Атап айтқанда, зерттеу s толқындары мен байланысты $l=0$ шартына сәйкес келетін нейтрондардың шашырауын зерттеуге бағытталған (Liu, 2018).

Бұл зерттеудің мақсаты материяның қозғалысы нейтрондардың толқындық қасиеттеріне қалай әсер ететінін көрсету және кедергі әсерлері призмасы арқылы Юкаваның экзотикалық гравитациясын зерттеу болып табылады. Нәтижелеріміз бөлшектердің өзара әрекеттесу теориясына жаңа үлес қосуға және гравитация табиғаты туралы түсінігімізді кеңейтуге көмектеседі.

Материалдар мен әдістер

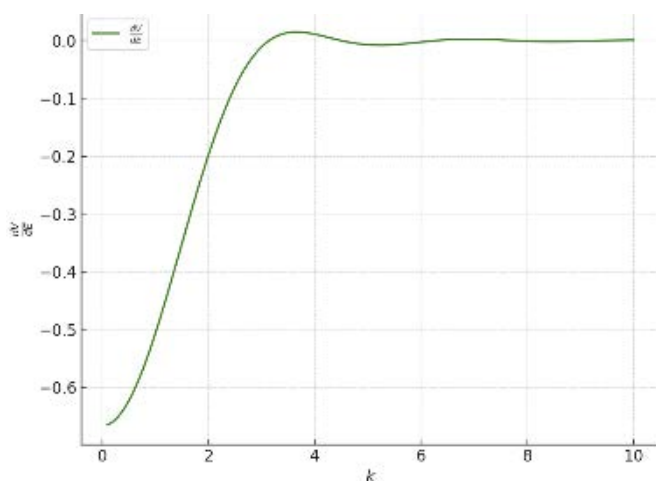
Зерттеудің негізгі идеясы-нейтрондардың нөлдік потенциалды айнадан және нөлдік емес потенциалды айнадан шағылысу ықтималдығының айырмашылығы р толқындарына және жоғары деңгейлерге үлес қосуы мүмкін. Гипотезаларымызды растау және бөлшектер физикасы мен кванттық механика саласындағы жаңа бағыттарды зерттеу үшін теориялық модельдер мен эксперименттік деректер арасында байланыс орнатуға тырысамыз (Zhang, 2017). V_{opt} әсерін 1а-суретте, $V=0$ — потенциал жоқ болғандағы жағдай мұнда \vec{k} векторының бағыты және \vec{q} берілген импульс көрсетілген. 1б-суретте, $V \neq 0$ кездегі оңтайлы потенциалы бар жағдай мұнда \vec{k} векторының бағыты және берілген импульс \vec{q} көрсетілген



Сурет 1. Нейтрондардың а) қозғалысы мен б) әсері

Перестің және басқа авторлардың еңбектері сияқты соңғы басылымдар экзотикалық потенциалды өрістер шашырау процесіне қалай әсер етуі мүмкін деген сұрақ туғызады. Бұл зерттеулер Юкава потенциалын жаңа эксперименттік қондырғылар аясында түсінуге және қолдануға теориялық негіз береді (Mukherjee, 2017). Нейтрондардың шашырауы туралы қолданыстағы білімді кеңейтуді яғни тек s-толқынды зерттеу мен шектелмей, p-толқынының және одан да жоғары реттіліктердің үлесін қоса қарастырамыз. Юкава потенциалының s-толқындық шашырауды зерттеу үшін нөлдік нейтрондық Физо эффектісін қолдана отырып, бөлшектердің шашырауына әсерін қарастырайық. Физо эффектісі бар жылу нейтрондары үшін нейтрондық оптикалық потенциал туралы нәтижесі 2-суретте көрсетілді. Классикалық тәсілдерге сүйене отырып, $l=0$ бұрыштық импульсі бар бөлшектер үшін фазалық ығысу тәуелділігін көрсететін шашырау функциясын талдаймыз. Бөлшектердің массасы, берілген импульс және нәтижелерге айтарлықтай әсер ететін Юкава потенциалының интегралды үлесі сияқты параметрлердің маңыздылығына назар аударылады.

$$\frac{dV}{dE} = 2 \left[\frac{J_0^2}{(ka)^4} \right] \sin(ka) [\text{ka} \cos(ka) - \sin(ka)] \quad (1)$$



Сурет 2. Нейтрондық толқын векторына байланысты нейтрондық оптикалық потенциалдың энергетикалық туындысы

Күтпеген әсерлер:

- Кедергі жолақтарының қарқындылығының өзгеруі: Материяның қозғалысы кедергі үлгісінде тұрақты ығысуды тудырады деп күтілген. Алайда, зерттеу барысында интерференция жолақтарының қарқындылығы тек салыстырмалы қозғалысқа байланысты ғана емес, сонымен қатар толқындық фронттардағы гетерогенділік сияқты басқа факторлардың әсерінен өзгергенін байқадық.

- Толқындық фронттардағы гетерогенділік: Бұл гетерогенділік бастапқы теорияда ескерілмеген күрделі орнату конфигурациясы мен эксперимент жағдайларына байланысты пайда болды. Олар толқындық функцияларда қосымша ауытқуларға әкелді, бұл кедергі үлгісін қиындатты.

- Қоршаған ортаның әсері: Сондай-ақ магнит өрістері мен температура сияқты сыртқы факторлардың фазалық ығысуларға әсер ететінін анықтадық. Бұл дәл талдау үшін қосымша айнымалыларды ескеру қажет екенін көрсетті.

Юкаваның Физо және экзотикалық гравитациялық әсерін талдау және нейтрондық шашырауды зерттеу үшін кванттық механика және интерферометрия тұжырымдамаларын қолдандық (Peres, 1983). Шашырау фазасын δ_0 анықтау маңызды кезең болып табылады, бұл қоршаған орта қозғалысының нейтрондардың толқындық қасиеттеріне әсерін тереңірек түсінуге мүмкіндік берді.

Бұл жұмыста нейтрондардың шашырау механизмдерін егжей-тегжейлі қарастыратырамыз (Snow, 2021). Негізгі назар δ шашырау фазасын және оның Юкаваның экзотикалық гравитациясымен байланысын есептеуге аударылады. s және p толқындары мен шашырау фазасы арасындағы байланыс нейтрондардың қозғалатын орталар арқылы өтетін жағдайдағы әрекетін түсіну үшін өте маңызды. δ өзгерістері әртүрлі ℓ мәндері үшін шашырау амплитудасына тікелей әсер етеді, бұл теориялық есептеулермен расталады (Aghanim, 2020).

Юкаваның экзотикалық гравитациялық потенциалы жағдайында бөлшектердің шашырауын талдау үшін нейтрондардың қозғалатын заттармен әрекеттесуінен

туындайтын фазалық ығысуды ескеру қажет. Шашырау функциясы $f(\theta)$ арқылы өрнектелуі мүмкін фазалық ығысу δ_0 , бұл бұрышқа байланысты шашырау ықтималдығының өзгеруін көрсетеді

$$\psi = e^{ikr} + \frac{1}{r} \sum e^{ikr} \cdot f(\theta) \quad (2)$$

θ шашырау функциясының формуласы келесідей анықталады

$$f(\theta) = \frac{(e^{2i\delta_0} - 1)}{2ik} \approx \frac{\delta_0}{k} \quad (3)$$

Бұл жерде k — толқындық сан, ал δ_0 — шашырау фазасы, Орта қозғалатын кезде нейтрондарды шағылдыру нәтижесінде макроскопиялық фаза ығысуы пайда болады, оны келесі формуламен өрнектеуге болады

$$\Phi = \frac{2\pi N \delta_0}{k^2} \quad (4)$$

мұнда N — бірлік ауданындағы шашыратқыштардың саны. $\delta_0 - l = 0$ кезіндегі фазаны білдіреді. Бұл нейтрондардың физикалық қасиеттері мен Юкаваның потенциалды өрісіне байланысты гравитациялық әсерлер арасында байланыс орнатуға мүмкіндік береді.

Зерттеудің бір бөлігі ретінде қарастырылатын жалпақ зат немесе пластина нейтрондар шоғыры белгілі бір жылдамдықпен қозғалады, мұны келесідей аламыз

$$u = \frac{\hbar k}{m} \quad (5)$$

мұнда m — нейтрон массасы. Егер жалпақ зат немесе пластина $u-v$ салыстырмалы жылдамдығымен қозғалса, бұл толқын санының өзгеруіне әкеледі, ол келесідей анықталады

$$k' = \frac{u-v}{u} k \quad (6)$$

Талдау арқылы шашырау фазасы макроскопиялық фаза арқылы анықталатынын (4) формуладан көреміз. Маңыздысы, бұл фаза интерферометриялық эксперименттерде өлшенеді және жүйенің геометриясы мен қозғалыс параметрлеріне тәуелді

Осылайша, slab яғни жалпақ зат немесе пластина қозғалысын, толқын санын және шашырау ұзындығын ескеретін талдау нәтижесінде оны нейтрондардың шашырау ұзындығымен байланыстыратын фазалық ығысу үшін соңғы өрнекке келеміз. Енді қозғалатын slab үшін фазалық ауысуды білдіре аламыз. δ_0 фазаның ауысуы салыстырмалы қозғалысқа да байланысты болады және оны келесідей көрсетуге болады

$$\delta_0 = -ka \quad (7)$$

мұнда a — энергияға тәуелді емес шашырау ұзындығы, ортаның белгілі бір жылдамдықпен қозғалуы кезінде байқауға болады v толқын саны k Доплер факторына көбейтіледі. Бұл δ_0 фазасының ауысуы да сол факторға көбейтілгенін көрсетеді.

Шашырау суммасы Юкава заңы үшін оптикалық потенциалдағы келесі теңдеуді береді

$$f(\theta) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(2l+1)}{2ikr} \cdot P_l[(1 + 2ikr \cdot f_l(k)) \cdot e^{ikr} - e^{-i(kr-l\pi)}] \quad (8)$$

ℓ — жартылай толқынның реттік нөмірі, P_ℓ — Лежандр полиномдары, $f_\ell(k)$ — ℓ ішінара толқын үшін шашырау функциясы, k -толқын саны, r — өзара әрекеттесу радиусы.

Юкава потенциалында жалғыз бөлшенің қозғалысын талдау үшін сандық әдістерді, мысалы, шекті айырмашылықтар әдісін және Runge Kutta әдісін қолдандық, бұл қозғалыс теңдеулерін тиімді шешуге және осы потенциалдың әсерінен жүйенің қозғалысын зерттеуге мүмкіндік береді. Сандық талдау үшін Runge Kutta 4-ші дәрежелі қарапайым шешушісін қолдандық және сандық сингулярлық жағдайлардың туындамауы үшін стандартты алгоритмді пайдаландық. Юкава потенциалының әсерінен бір бөлшектің қозғалысы Юкава потенциалы немесе экрандалған кулондық потенциал ретінде анықталады

$$V(r) = -\frac{\alpha}{r} e^{-\frac{r}{\lambda}} \quad (9)$$

мұнда, λ Юкава потенциалының диапазоны болып табылады. Планетарлық қозғалыс түрі үшін қозғалыс теңдеуі

$$\frac{d^2u}{d\theta^2} + u = 1 + \alpha e^{-\frac{1}{\lambda u}} \left(1 + \frac{1}{\lambda u} \right) \quad (10)$$

Жақын аналитикалық шешім (9) теңдеуінің оң жақ бөлігін Тейлор қатары бойынша кеңейту және екінші реттік мүшелерге дейін қысқарту арқылы табылды,

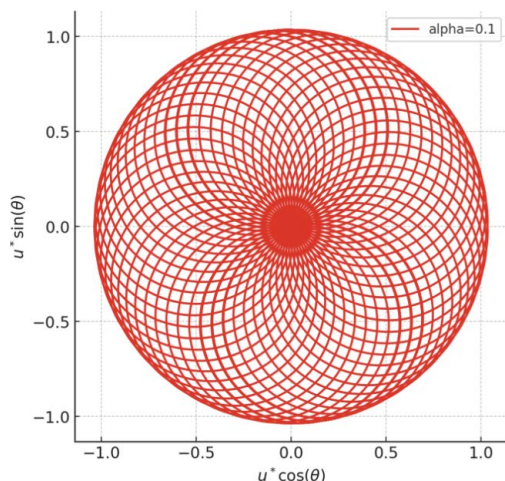
және $a_{p0} \sim p_0 = 1/u_0$, $u_0(\alpha=0)$ шешім болып табылады. Нәтижесінде теңдеу келесі түрге келеді және графикалық көрінісі 2-суретте көрсетілген

$$u(\theta) = u_0 + u_e \cos \omega(\theta - \theta_0) \quad (11)$$

және

$$\omega = \left[1 - \alpha \left(\frac{a_{p0}^2}{\lambda^2} \right) e^{-\frac{a_{p0}}{\lambda}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$\alpha=0.1$ болғанда, эллипстің тұрақты прецессиясын байқадық. Алайда, эллипс бір айналымды аяқтағаннан кейін өздігінен жабылмайды (Mukherjee, 2017).



Сурет 3. $\alpha=0.1$ кезіндегі прецессивті эллипс

Осылайша, байланыс тұрақтысының мәнін арттыру прецессияның жылдамдығын арттыратынын байқаймыз. Кейбір жағдайларда бұл орбиталардың табиғатын да өзгертеді. Егер байланыс тұрақтысының мәнін толық айналымнан кейін прецессирленген орбита бастапқы орбитаға сәйкес келетіндей етіп реттесе, ол траекториясын қайталап, жабық байланысты орбита қалыптастырады. Сондықтан Юкава потенциалы үшін орбитаның байланысты болу критерийі – байланыс параметрін дұрыс таңдауын, және оны 3-суретте көрсеттік.

Нәтижелер

Юкава потенциалындағы нейтрондардың шашырауына қатысты зерттеу нәтижелері. Сандық есептеулер жүргізіп және экзотикалық потенциалдың әсерін ескере отырып, шашырау функциясы $f(\theta)$ және толқындық функция үшін өрнектер алдық. Атап айтқанда, жүргізілген есептеулер негізінде шашырау функциясының өрнегіне келдік, ол $l=0$ болған жағдайда келесідей жазылады

$$f(\theta) = \frac{1}{2ikr} \left[e^{2i\delta_l} \cdot e^{ikr} - e^{-ikr} \right] \quad (13)$$

Мұнда экзотикалық гравитацияның нейтрондардың шашырауына әсерін бағалауға мүмкіндік беретін Юкава потенциалы арқылы анықталған өзіндік фазалық ығысу ұсынылған. (13) теңдеуді ыңғайлы түрге келтіріп алсақ

$$f(\theta) = \frac{e^{i\delta_l}}{2ikr} \left[e^{i(kr-\delta_l)} - e^{-i(kr-\delta_l)} \right] \quad (14)$$

синусқа түрлердіре отырып экспоненталар айырымын табамыз

$$e^{i(kr-\delta_l)} - e^{-i(kr-\delta_l)} = 2i \sin(kr - \delta_l) \quad (15)$$

бастапқы орнына қоятын болсақ

$$f(\theta) = \frac{e^{i\delta_l}}{2ikr} \cdot 2i \sin(kr - \delta_l) \quad (16)$$

Әрі қарай оңайлату үшін, δ_l кіші мәндері үшін жуықтауды қолданамыз. Егер δ_l мәні аз болса, онда синусты келесідей жаза аламыз

$$\sin(kr - \delta_l) \approx \sin(kr) - \delta_l \cos(kr) \quad (17)$$

$f(\theta)$ үшін орнына қойамыз сонда келесідей өрнектеледі

$$f(\theta) = \frac{e^{i\delta_l}}{kr} \cdot \sin(kr) - \delta_l \cos(kr) \quad (18)$$

Егер тек бірінші ретті ескеріп, екінші ретті шамаларды елемейтін болсақ

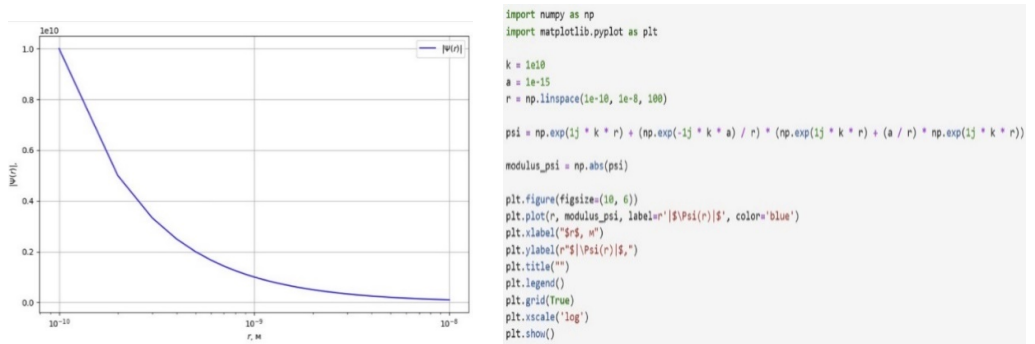
$$f(\theta) \approx e^{i\delta_l} \left(\frac{\sin(kr)}{kr} - \frac{\delta_l \cos(kr)}{kr} \right) \quad (19)$$

kr -дің шағын мәндерінде қарастырамыз, сонда $f(\theta)$ үшін келесі шешімді аламыз

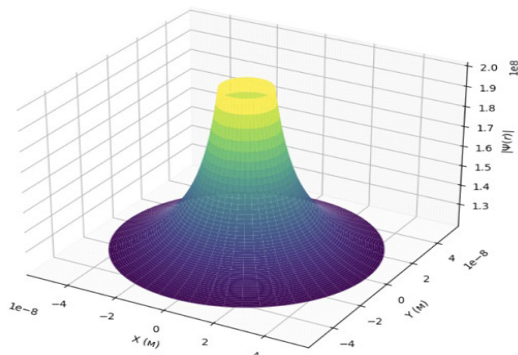
$$f(\theta) \approx e^{i\delta_l} \left(1 - \frac{\delta_l}{kr} \right) \quad (20)$$

Бұл жуықтау импульстің төмен мәндеріндегі жүйенің әрекетін дәлірек сипаттауға мүмкіндік береді. Әрі қарай есептеу кезінде шашырау функциясының толқындық функцияға қосқан үлесін ескердік, бұл кейінгі талдаудың негізгі қадамы болып табылады. Айта кету керек, шашырау функциясы үшін алынған шамаменөрнек Тейлор қатарына ыдыраудың нәтижесі болып табылады, бұл нейтрондардың шашырау процесін зерттеу үшін жеткілікті дәлдікті қамтамасыз етеді.

Енді жоғарыда көрсетілген өрнекпен анықталған жағдайларда толқындық функцияның динамикасын көрсететін 4-суретте 2D және 5-суретте 3D графикалық визуализацияларын көрсетеміз. Бұл графиктер Юкава потенциалының параметрлеріне және нейтрондардың шашырауына әсер ететін басқа факторларға байланысты жүйенің қозғалысын қалай өзгертетінін жақсы түсінуге көмектеседі.



Сурет 4. Юкава потенциалы әсер еткендегі толқындық функцияның графигі



```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

hbar = 1.0545718e-34
m = 1.67e-27
g = 1e-20
I0 = 1.0
r = np.linspace(1e-8, 5e-8, 100)
k = 1e10
a = 1e-8

f_theta = np.exp(-1j * k * a) * (1 + r / a)

psi = np.exp(1j * k * r) + (1/r) * (f_theta * np.exp(1j * k * r))

modulus_psi = np.abs(psi)

R, Theta = np.meshgrid(r, np.linspace(0, 2 * np.pi, 100))
X = R * np.cos(Theta)
Y = R * np.sin(Theta)
Z = np.abs(np.exp(1j * k * R) + (1/R) * (f_theta * np.exp(1j * k * R)))

fig = plt.figure(figsize=(12, 8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, Z, cmap='viridis', edgecolor='none')

ax.set_xlabel('X (м)')
ax.set_ylabel('Y (м)')
ax.set_zlabel(r'$|Psi(r)|$')
ax.set_title('3D представление модуля волновой функции с учетом f(θ)')
plt.show()

```

Сурет 5. $f(\theta)$ ескере отырып, толқындық функция модулінің 3D көрінісі

Толқындық қасиеттерді есептеуді және талдауды жеңілдету үшін $f(\theta)$ шашырау функциясы үшін жуық өрнекті алмастыра аламыз. Толқындық функцияны (2) формулаға алмастыра отырып, келесі өрнекті аламыз

$$\Psi \approx e^{ikr} + \frac{1}{r} \sum e^{ikr} \left(e^{i\delta_l} \left(1 - \frac{\delta_l}{kr} \right) \right) \quad (21)$$

Енді, егер ℓ -дің барлық ішінара толқындарын қорытындылайтын болсақ, оны қайта жазуға болады және осы кезеңде өрнекті жеңілдету толқындық функцияның негізгі сипаттамаларын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Осылайша келесі интерпретацияны аламыз

$$\Psi \approx e^{ikr} + \frac{1}{r} e^{ikr} \sum_{l=0}^{\infty} e^{i\delta_l} \left(1 - \frac{\delta_l}{kr} \right) \quad (22)$$

Бұл теңдеу толқындық функцияның екі негізгі компоненттен тұратындығын көрсетеді, e^{ikr} -дің бірінші бөлігі, ол шашыраңқы толқын, ал екінші бөлігі барлық диффузорлардың үлесін қамтиды, мұнда $e^{i\delta_l}$ әр жеке диффузормен байланысты фазалық ығысу болып табылады.

Зерттеу нәтижесінде Юкава потенциалы контекстінде нейтрондардың шашырау функциясы туралы айтарлықтай деректер алынды. Материяның қозғалысы мен нейтрондардың толқындық қасиеттерінің өзгеруі арасында нақты байланыс орнатуға мүмкіндік беретін Физо эффектін ескере отырып, толқындық функция мен шашырау функциясын талдау үшін әртүрлі сандық әдістерді қолдандық.

Талқылау

Нейтрондардың шашырауы және Юкаваның ықтимал өрістері саласындағы қолданыстағы зерттеулер аясында алынған нәтижелерге талдау жасайық. Бұл жұмыс нейтрондардың қозғалатын заттармен өзара әрекеттесуін зерттеу үшін Физо эффектін қолдану кванттық және гравитациялық өзара әрекеттесулерді түсінуде жаңа перспективаларға әкелуі мүмкін екенін көрсетті.

Бұрын жүргізілген эксперименттер, нейтрондардың шашырауына байланысты ерекше әсерлердің болуын растады. Қарастырылған жұмыста нейтрондардың әртүрлі потенциалдық өрістерден шағылысу ықтималдығының айырмашылығы тек s-толқындық функциялардың ғана емес, сонымен қатар p-толқындық функциялардың қозғалысына әсер етіп, зерттеуге жаңа бағыттар ашатынын көрсете отырып, осы идеяларды кеңейтеді. Гравитацияның экзотикалық формалары, соның ішінде Юкава потенциалын тереңірек талдауды қажет етеді және күтпеген нәтижелерге әкелуі мүмкін.

Бұл зерттеу қоршаған ортаның қозғалысы жағдайында шашырау функциясын егжей-тегжейлі талдауды қамтамасыз етеді, сондай-ақ микро деңгейдегі өзара әрекеттесулерді түсінуді тереңдетуге мүмкіндік береді. Қозғалыс теңдеулерін

пешу үшін Runge Kutta әдісі сияқты сандық әдістерді қолдану өзінің тиімділігін көрсетті, бұл осы саладағы зерттеу әдістемесін дамытудағы маңызды қадам. Қарастырылған жұмыс идеализацияға бағытталған және жүйенің нақты қозғалысы потенциалдың гетерогенділігі немесе сыртқы өрістердің әсері сияқты күрделі факторларға байланысты өзгеруі мүмкін.

Болашақ зерттеулер өзара әрекеттесуді егжей-тегжейлі талдауға, соның ішінде ұсынылған модельдерді эксперименттік тексеруге бағытталуы мүмкін. Сонымен қатар, температура мен тығыздық сияқты әртүрлі параметрлердің нақты эксперименттер жағдайында нейтрондардың шашырау функцияларына әсерін зерттеу Юкава потенциалы мен гравитацияның экзотикалық формаларына қатысты құбылыстар туралы толық түсінік бере алады. Осылайша, бұл зерттеу бөлшектер физикасы мен кванттық деңгейдегі өзара әрекеттесу саласындағы қосымша зерттеулер үшін жаңа бағыттар ашады. Сонымен қатар, теориялық есептеулерді эксперименттік деректермен біріктіру ұсынылған гипотезаларды растаудың және Юкава моделіндегі өзара әрекеттесу туралы бар білімді кеңейтудің негізгі қадамы болады.

Қорытынды

Зерттеу барысында Юкава экзотикалық гравитациялық потенциалының нейтрондардың қозғалысына, әсіресе олардың қозғалмалы объектілерден шашырауына әсерін қарастырдық. Теориялық модельдер мен эксперименттік мәліметтерге сүйене отырып, теориялық болжамдар мен фазалық ығысуларды қоса алғанда, нейтрондық толқындардың бақыланатын әсерлері арасындағы байланысты орнатуға ұмтылдық.

Мезондармен алмасу арқылы өзара әрекеттесуді сипаттайтын Юкава потенциалының нейтрондардың шашырауына айтарлықтай әсер етуі мүмкін екенін және бұл бірнеше эксперименттердегі бақылаулармен расталғанын дәлелдедік. δ_0 параметрі талдауымызда негізгі рөл атқарады, өйткені ол экзотикалық өзара әрекеттесулер тудырған фазалық ығысуды көрсетеді. Эксперименттерде байқалған күтпеген әсерлер кванттық процестерді одан әрі зерттеу қажеттілігін растайды, әсіресе гравитация мен басқа өзара әрекеттесулер бөлшектердің динамикасын айтарлықтай өзгерте алатын жағдайларда. Атап айтқанда, нейтрондық толқындардың интерференциялық үлгілеріндегі өзгерістер теориялық модельдеріміздегі гравитацияның экзотикалық формаларын есепке алудың маңыздылығын көрсетеді.

Осы нәтижелер сонымен қатар қолданыстағы модельдерді қозғалатын ортаның фазаға және нейтрондардың жылдамдығына әсерін ескеретін жаңа параметрлермен толықтыру қажеттілігін көрсетеді. Сонымен қатар, зерттеу микро деңгейдегі өзара әрекеттесулерді және олардың күрделі кванттық жүйелерге әсерін зерттеудің жаңа перспективаларын ашады. Осы саладағы қосымша зерттеулер бөлшектер физикасындағы іргелі өзара әрекеттесулерді жаңа түсінуге және гравитация табиғаты туралы білімімізді кеңейтуге әкеледі. Қорытындылай келе, зерттеулеріміз экзотикалық гравитация түрлерін және олардың кванттық

жүйелерге әсерін зерттеудің теориялық негіздерін және эксперименттік тәсілдерін кеңейтуге көмектеседі. Бұл нәтижелер бөлшектер физикасы, гравитация және кванттық механика салаларындағы жаңа ашылымдар мен қолдануларға негіз бола алады.

Әдебиеттер

- Аганим Н. (2020) Планк 2018 зерттеу нәтижелері VI. Космологиялық параметрлер / Ю. Акрами, М. Ашдаун, Дж. Омонт, М. Баллардинит.б. // *Astronomy & Astrophysics*, 641, А6.
- Брандес Л., (2024) Нейтрон жұлдыздарының затындағы фазалық ығысуларға шектеулер /Вайзе В. // *Symmetry*, 16(1), 111.
- Галлинет Б. (2015) Нанофотоника үшін сандық әдістер: стандартты мәселелер және болашақ қиындықтар / Буте Ж., Мартин О. Ж. // *Laser & Photonics Reviews*, 9(6), 577-603.
- Дунфан С. Д. (2021) Юкава потенциалы арқылы қараланған ядролық күш тұрақтылықтары // *Mathematics & Nature*, 1(009), 14.
- Конча П. (2021) Үш өлшемді экзотикалық Ньютон супергравитация теориясы космологиялық тұрақтылықпен / Равера Л., Родригес Э. // *The European Physical Journal C*, 81(7), 1-15.
- Лю Г., (2018) ДАМПЕ нәтижелерін иерархиялық лептонға тән Юкава өзара әрекеттерімен түсіндіру / Ван Ф., Ван У., Ян Дж. // *Chinese Physics C*, 42(3), 035101.
- Мукерджи Р. (2017) Юкава потенциалындағы жеке бөлшектің жабық орбиталары / С. Ссаунда // *Indian Journal of Physics*, 92(2), 197-203.
- Нанди К. К. (2003) Физо эффектінің аналогы тиімді оптикалық ортада / Эванс Дж. С., Бхадра А. // *Physical Review D*, 67(2), 025002.
- Перес, А. (1983) Нейтронның козғалмалы заттағы таралуы // *American Journal of Physics*, 51, 947.
- Сноу У.М. (2021) Нейтрондарды пайдалана отырып экзотикалық өзара әрекеттерді іздеу / Хэддок С., Хиакко В. // *Symmetry*, 14(1), 10.
- Франк А.И. (2016) Ультрасалқын нейтроны және козғалыстағы затпен толқындардың өзара әрекеттесуі // *Physics of Particles and Nuclei*, 47, 647-666.
- Хиромото М., (2021) Жаңа аралық өзара әрекеттесуді когерентті нейтронды шашырату арқылы зерттеуге арналған принципті тәжірибе / Хори Т., Кондо Р., Хара С. // *Proceedings of the 3rd J-PARC Symposium*, 33, 011118,
- Цзи Х. Х. (2021) Юкава бөлшегінің ықтималдық тығыздығы: Нөмірлік есептеулер және аналитикалық шешім / Хе У. У., Цзяо Л. Г., Лю А., Хо У. К. // *Physics Letters B*, 823, 136718.
- Чжан Р. У. (2017) Екі өлшемді Юкава жүйесіндегі бөлшек санының тығыздығының толқынның дисперсиясына әсері / Лю У. Н., Хуан Ф., Чэнь З. У., Ли С. У. // *Chinese Physics Letters*, 34(7), 075203.
- Эдвардс Дж. П. (2017) Юкава потенциалы: негізгі күй энергиясы және критикалық экрандау / Гербер У. // *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2017(8), 083A01.

References

- Nandi K.K., Evans J.C., Bhadra A. (2003) Analogue of the Fizeau effect in an effective optical medium, *Physical Review D*, Vol. 67. No 2. 025002 p.
- Edwards J. P., Gerber U., (2017) The Yukawa potential: ground state energy and critical screening, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Vol. 2017. No 8. 083A01 p.
- Dongfang X. D. (2021) Nuclear Force Constants Mapped by Yukawa Potential, *Mathematics & Nature*, 1:14. Vol. 1. No 009. 14 p.
- Concha P., Ravera L., Rodríguez E. (2021) Three-dimensional exotic Newtonian supergravity theory with cosmological constant, *The European Physical Journal C*, Vol. 81. No 7. pp. 1-15.
- Gallinet B., Butet J., Martin O. J. (2015) Numerical methods for nanophotonics: standard problems and future challenges, *Laser & Photonics Reviews*, Vol. 9. No 6. pp. 577-603.
- Ji X. H., He Y. Y., Jiao L. G., Liu A., Ho Y. K. (2021) Probability density of the Yukawa particle at the origin: Numerical calculation and analytical solution, *Physics Letters B*, Vol. 823. 136718 p.
- Liu G., Wang F., Wang W., Yang J. M. (2018) Explaining DAMPE results by dark matter with hierarchical lepton-specific Yukawa interactions, *Chinese Physics C*, Vol. 42. No 3. 035101 p.

- Zhang R. Y., Liu Y. H., Huang F., Chen Z. Y., Li C. Y. (2017) Effect of Particle Number Density on Wave Dispersion in a Two-Dimensional Yukawa System, *Chinese Physics Letters*, Vol. 34. No 7. 075203 p.
- Snow W.M., Haddock C., Heacock B. (2021) Searches for exotic interactions using neutrons, *Symmetry*, Vol. 14. No 1. 10 p.
- Aghanim N., Yashar A. (2020) Planck 2018 results, VI. Cosmological parameters, *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 641. A6 p.
- Peres A. (1983) Neutron propagation in moving matter, *American Journal of Physics*, Vol. 51. 947 p.
- Mukherjee R., Sounda S. (2017) Single particle closed orbits in Yukawa potential, *Indian Journal of Physics*, Vol. 92. No 2. pp. 197-203.
- Hiroto M., Hori T., Kondo R., Hara S. (2021) Proof-of-principle experiment for the study of a new intermediate-range interaction using coherent neutron scattering, *Proceedings of the 3rd J-PARC Symposium*, Vol. 33. 011118 p.
- Frank A. I. (2016) Ultracold neutrons and the interaction of waves with moving matter, *Physics of Particles and Nuclei*, Vol. 47. pp. 647-666.
- Brandes L., Weise W. (2024) Constraints on Phase Transitions in Neutron Star Matter, *Symmetry*, Vol. 16. No 1. 111 p.

A. Istlyaup^{1*}, L. Myasnikova¹, A. Lushchik², 2024.

¹K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan;

²Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, Estonia.

E-mail: assel.ist94@gmail.com

COMPUTER SIMULATION OF THE DENSITY OF STATE NaX (X = F, Cl) NANOOBJECTS

A. Istlyaup – PhD student, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, E-mail: assel.ist94@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3423-5126>;

L. Myasnikova – candidate of physical and mathematical sciences, associated professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan, E-mail: myasnikova_ln@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

A. Lushchik – doctor of physical and mathematical sciences, professor, Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, Estonia, E-mail: aleksandr.lushchik@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0003-2035-3420>.

Abstract. Modern science of solid-state physics is increasingly engaged in the research of nanomaterials and the development of nanotechnologies. Today, all kinds of theoretical methods and research technologies are intensively used to explain the meaning of experimental results dependent on the study of the properties of defects in solids. Improvement in this area is likely due to improvements in computer technology and the development of modern quantum chemical packages. This work presents the results of computer simulation of the density of states and total energy of NaX (X = F, Cl) nanoobjects within the framework of density functional theory (DFT). By studying the influence of structural defects and comparing them with macroscopic objects, nanosized NaX crystals with the structure of an ideal cubic crystal, a cubic crystal with point defects, changes in energy levels in the state density spectra of individual samples are observed. The obtained results of experiments on modeling NaX in various cluster compounds make it possible to classify these objects as quantum dots and further continue studies of alkali halide crystals in nanosized structures.

Key words: nanocrystals NaF and NaCl, density of state, total energy, specific energy, quantum dots.

©А. Истляуп^{1*}, Л. Мясникова¹, А. Лущик², 2024.

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан;

²Тарту университеті, Физика институты, Тарту, Эстония.

E-mail: assel.ist94@gmail.com

NaX (X = F, Cl) НАНООБЪЕКТЛЕРІНІҢ КҮЙ ТЫҒЫЗДЫҒЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

А. Истляуп – PhD докторант, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, E-mail: assel.ist94@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3423-5126>;

Л. Мясникова – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, E-mail: myasnikova_ln@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

А. Лущик – физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Тарту университеті, Физика институты, Тарту, Эстония, E-mail: aleksandr.lushchik@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0003-2035-3420>.

Аннотация. Қазіргі таңда қатты дене физикасы ғылымы наноматериалдарды зерттеу және нанотехнологияларды дамытуға баса назар қойып дамып келеді. Бүгінде теориялық әдістер мен зерттеу технологияларының барлық түрлері қатты денелердегі ақаулардың қасиеттерін зерттеуге байланысты эксперименттік нәтижелердің мағынасын түсіндіру үшін қарқынды қолданылады. Бұл саланың жақсаруы компьютерлік технологияның жетілдірілуіне және заманауи кванттық-химиялық пакеттердің дамуына байланысты болуы мүмкін. Бұл жұмыс NaX (X = F, Cl) нанобъектілерінің күй тығыздығы мен толық энергиясын компьютерлік модельдеу нәтижелерін тығыздықтың функционалдық теориясы (ТФТ) шеңберінде ұсынады. Құрылымдық ақаулардың әсерін зерттей отырып және оларды макроскопиялық объектілермен, идеал кубтық кристалының құрылымы бар наноөлшемді NaX кристалдарымен, нүктелік ақаулары бар кубтық кристалмен салыстыра отырып, жеке үлгілердің күй тығыздығы спектрлеріндегі энергия деңгейлерінің өзгеруі байқалды. Әртүрлі кластерлік қосылыстардағы пах модельдеу эксперименттерінің нәтижелері бұл нысандарды кванттық нүктелер ретінде жіктеуге және наноөлшемді құрылымдардағы сілтілі галоидты кристалдарды зерттеуді жалғастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздері: NaF және NaCl нанокристалдары, күй тығыздығы, толық энергия, меншікті энергия, кванттық нүктелер.

А. Истляуп^{1*}, Л. Мясникова¹, А. Лущик², 2024.

¹Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актөбе, Казахстан;

²Институт Физики, университет Тарту, Тарту, Эстония.

E-mail: assel.ist94@gmail.com

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЯ НАНООБЪЕКТОВ NaX (X = F, Cl)

А. Истляуп – PhD докторант, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актөбе, Казахстан, E-mail: assel.ist94@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3423-5126>;

Л. Мясникова – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан, E-mail: myasnikova_ln@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3326-7206>;

А. Лущик – доктор физико-математических наук, профессор, Институт Физики, университет Тарту, Тарту, Эстония, E-mail: aleksandr.lushchik@ut.ee, <https://orcid.org/0000-0003-2035-3420>.

Аннотация. Современная наука физика твердого тела все активнее занимается исследованиями наноматериалов и разработкой нанотехнологий. Сегодня все виды теоретических методов и исследовательских технологий интенсивно используются для объяснения смысла экспериментальных результатов, зависящих от изучения свойств дефектов в твердых телах. Улучшение в этой области, вероятно, связано с совершенствованием компьютерных технологий и разработкой современных квантово-химических пакетов. В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования плотности состояний и полной энергии нанобъектов NaX (X = F, Cl) в рамках теории функционала плотности (ТФП). Изучая влияние структурных дефектов и сравнивая их с макроскопическими объектами, наноразмерными кристаллами NaX со структурой идеального кубического кристалла, кубическим кристаллом с точечными дефектами, наблюдают изменения энергетических уровней в спектрах плотности состояния отдельных образцов. Полученные результаты экспериментов по моделированию NaX в различных кластерных соединениях позволяют классифицировать эти объекты как квантовые точки и в дальнейшем продолжить исследования щелочно-галогенидных кристаллов в наноразмерных структурах.

Ключевые слова: нанокристаллы NaF и NaCl, плотность состояния, полная энергия, собственная энергия, квантовые точки.

Кіріспе

Қазіргі уақытта сілтілі металл мен галогеннен тұратын наноөлшемді заттардың қасиеттері химия, физика, материалтану және электроника сияқты ғылымның әртүрлі салаларының мамандары тарапынан белгілі бір технологиялық қызығушылық тудырады (Gopikrishnan, 2012; Bichoutskaia, 2006; Fernandez-Lima, 2012; Istlyaup, 2023; Baker, 2013) мақаласында NaCl нанотүтікшелерінің қасиеттері зерттеліп, түтікше ұзарған сайын иондық байланыс иондар арасындағы тұрақтандыруды арттыруға негізгі үлес қосады деген қорытындыға келген. Сонымен қатар, түтікшелердің ұзындығын ұлғайту және енін азайту арқылы иондық сипаттаманың жоғарылауына ықпал етуге болады. (Fernandez-Lima, 2012) жұмысында бірқатар бейтарап кластерлер үшін $(LiF)_{n=2,3,6}$ көлденен қималары алтыбұрышты және сегізбұрышты болатын нанотүтікшелердің құрылымдары үлкен LiF кристалдарының типтік кубтық формасының тұрақтылығына тең немесе одан үлкен тұрақтылықты көрсетеді деп тұжырымданады.

Алғашқы зерттеулерде адгезия, байланысу, құрылыс, беттік электронды күйлер және наноторлардағы әртүрлі эффектілер бойынша нәтижелер қарастырылған. Сонымен қатар, соққы әсерінен $Na_{14}F_{12}$ құрылымының фрагментациясы кезінде сілтілігалогидты кластерлердің деметализация процесі талданады. NaF

кластерлерінің кремний бетімен соқтығысуы кезінде жүретін реакциялар да зерттелген. (Lumeau, 2014) жұмысында фототерморелактивті шыныдағы NaF нанокристалдарын рентгендік дифракциялық зерттеу егжей-тегжейлі сипатталған. (Messaoudi, 2015; Mamula, 2018) жұмыстарында сілтілік металл галогенидтерінің электрондық, құрылымдық, термодинамикалық және динамикалық қасиеттері толық потенциал және жазықтық толқындардың псевдопотенциалы әдістерін қолдана отырып, бірінші принциптерден есептелді.

Заманауи электрониканың дамуы жаңа материалдарды ашуға негізделген, олардың ішінде көміртекті нанотүтікшелер ерекше орын алады. Олардың бірегей механикалық, термиялық және электрлік қасиеттері шағын электронды құрылғылар жасауға мүмкіндік береді, сондай-ақ басқа атомдар мен молекулаларды инкапсуляциялау қабілеті оларды наноэлектроникада қолдануға болатынын көрсетеді (Istlyaur, 2024 a). NaCl және NaF нанотүтіктері құрылғылар мен жаңа материалдар жасауға пайдаланылатын нанокұрылымдардың үлгілері болып табылады. Олар атомдары тор тәрізді орналасқан кристалды материалдардың түтіктері болып табылады (Baker, 2013; Fernandez-Lima, 2012). Мұндай құрылымдардың электрондық қасиеттерін зерттеу олардың физикалық қасиеттерін және түрлі салалардағы әлеуетті қолдануларын түсінуге көмектеседі. (Istlyaur, 2024 b) жұмысында тығыздық функционалдық теориясы негізінде NaF нанотүтіктерінің электрондық құрылымы мен энергиясы есептелді, ал алынған нәтижелер бұл құрылымдарды кванттық нүктелер ретінде сипаттауға мүмкіндік береді. NaCl кристалдары жиі тәжірибелік платформа ретінде қолданылады, себебі олардың құрылымы және өлшемдері эксперименттік жағдайларды реттеуге өте ыңғайлы. Нанотехнологиялар аясында кристалдардың беттерін және олардың реакциялық қабілеттерін зерттеу маңызды болып саналады. Жалпы, NaCl кристалдарын зерттеу қазіргі ғылымда маңызды болып табылады, себебі бұл материалдар ғылыми және технологиялық жаңалықтардың негізін қалайды (Zhanturina, 2022).

Жалпы қабылданған пікір бойынша, нанокұрылымдық объектілерге өлшемдері 1-ден 100 нм-ге дейінгі диапазонда жататын объектілер жатады. Негізінде, мұндай өлшемдік шектеудің біршама шартты сипаты бар. Нанобъектілердің басты ерекшелігі - олардың мөлшеріне байланысты олар ерекше қасиеттерге ие болуы (Bryukvina, 2018). Нанокристалды құрылымдардағы иондардың көпшілігі сыртқы қабатта орналасатындықтан, олардың көптеген қасиеттері бетінде байқалады. Көп жағдайда, бұл ерекше қасиеттер нанобъектілердің өлшемдері шартты түрде белгіленген 100 нм шегінен асқанда да байқалуы мүмкін. (Pandey, 1992) жұмысында NaF кристалының $2 \times 2 \times 2$ кубтық ұяшығының энергиясы Хартри-Фок әдісімен есептелген.

Нанотүтіктердің қасиеттерінің негізгі көрсеткіштерінің бірі – олардың күй тығыздығы (DOS – density of states). DOS жүйедегі электрондармен толтырылған энергияның таралуын көрсетеді және материалдың электрондық қасиеттерін түсінуге көмектеседі. NaCl және NaF нанокластерлерінің DOS зерттеулері олардың электрондық қасиеттерін түсінуге және оларды электроника мен оптикада

қолдану мүмкіндігін анықтауға көмектеседі (Baker, 2013; Fernandez-Lima, 2012), (Myasnikova, 2015).

Бұл жұмыста NaCl және NaF нанообъектілерінің күй тығыздығын, толық энергиясын 1 К температурасында анықтау үшін Atomistix ToolKit бағдарламасымен Virtual NanoLab (VNL ATK) арқылы компьютерлік модельдеу жасалды. Аталған бағдарлама бұған дейін бірнеше есептеу жұмыстарында сәтті тексерілгенін атап өткен жөн (Vemuri, 2022; Salih, 2020; Salih, 2021; Chen, 2022;).

Модельдеу шарттары (Материалдар мен әдістер).

Наножүйелерді, соның ішінде нанокристалдарды модельдеу үшін қатты денелер мен молекулаларды модельдеуге арналған әдістер қолданылады, мысалы, тығыздық функционалдық теориясы немесе Хартри-Фок әдісі, олар кванттық механиканың негізгі заңдылықтарын ескеруге мүмкіндік береді. Бірақ, наножүйелердің атомдық құрылымында ерекше айырмашылық бар: олардың шағын өлшемі беткі және шекаралық эффектілердің әсерін күшейтеді. Бұл әсерлер наноөлшемді объектілердің қасиеттерін басқаруда маңызды рөл атқарады, себебі олардың көп бөлігі сыртқы қабатта орналасады, ал көлемді материалдарда мұндай әсер елеусіз қалады.

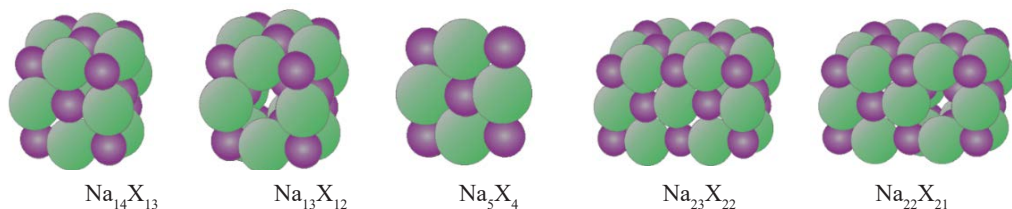
Электрондық қасиеттер тұрғысынан наножүйелерді сипаттайтын тағы бір маңызды ерекшелік – олардың кванттық тұтқырлық (quantum confinement) құбылысы. Бұл құбылыс нанобөлшектердің мөлшері азайған сайын айқынырақ болады, себебі электрондар қозғалысы күшті шектеулерге ұшырайды. Мұндай шектеулер электрондық толқындық функциялардың кеңістіктегі таралуын азайтады, бұл өз кезегінде кванттық эффектілерді айтарлықтай арттырады. Осыған байланысты нанобөлшектердің электрондық деңгейлері дискретті энергия күйлері түрінде болады, яғни олар энергетикалық деңгейлердің квантталуын көрсетеді.

Бұл дискретті күйлер нанобөлшектердің электрондық құрылымын молекулаларға ұқсас етеді және олар қатты денелердің құрылымынан айтарлықтай ерекшеленеді, әсіресе Ферми деңгейі аймағында. Ферми деңгейіне жақын энергия күйлері нанокұрылымдардың өткізгіштігі, оптикалық және электрондық қасиеттерін анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Көлемді материалдарда Ферми деңгейі аймағындағы күйлер үздіксіз түрде орналасса, нанобөлшектерде олар дискретті болып келеді, бұл олардың электрондық тасымалдау қасиеттерін ерекше етеді.

Наножүйелердің осы қасиеттері оларды әртүрлі оптоэлектроника, катализ, энергетика және биомедицина сияқты салаларда қолдануға мүмкіндік береді, себебі олардың кванттық және беткі әсерлері көптеген қолданбалар үшін ерекше артықшылықтар береді.

Бұл жұмыста есептеулер Synopsis компаниясының DFT негізіндегі VNL ATK бағдарламасымен жүргізілді. Құрылған $\text{Na}_{14}\text{X}_{13}$ ($\text{X} = \text{F}, \text{Cl}$) кластері 27 ионнан тұрады, ол 1a-суретте көрсетілгендей, $(j, k, i) = (3, 3, 3)$ индекстері бар және O_h симметриясына ие теріс зарядталған кубты құрайды. $\text{Na}_{13}\text{X}_{12}$ кластері нанообъектінің орталық аймағынан Na^+ және X^- иондарын алып тастау арқылы

алынған (1b-сурет). Na_5X_4 объектісі 9 ионнан тұрады, ол 1c-суретте көрсетілгендей, $(j, k, i) = (3, 3, 1)$ индекстері бар жазықтықты құрайды. $\text{Na}_{23}\text{X}_{22}$ кластері $(j, k, i) = (3, 3, 5)$ индекстері бар, 45 ионнан тұратын параллелепипед пішінінде (1d-сурет). Ал $\text{Na}_{22}\text{X}_{21}$ нанообъектісі 1f-суретте көрсетілгендей, соңғы қабаттың ортасынан Na^+ және X^- иондарын алып тастау арқылы алынған.



Сурет 1. NaX кластерлерінің геометриясы. Кішкентай күлгін шар – галоген атомы, ал үлкен жасыл шар – натрий атомы

NaX нанокластерін компьютерлік модельдеу нүктелік тығыздықты жуықтауда тығыздықтың функционалдық теориясы аясында жүргізілді.

Электронның орны (x, y, z) толқындық функциямен сипатталады (x, y, z) . Белгілі бір нүктеде (x, y, z) электронды табу ықтималдығы $|\psi(x, y, z)|^2$ өрнегімен сипатталады, мұндағы жалпы ықтималдық $\int |\psi(x, y, z)|^2 dx dy dz$ шартына дейін бір қалыпқа келтірілген.

Өткізгіштік аймағының төменгі жағындағы электрондар қорапқа салынған бос бөлшектер (тиімді массасы бар) сияқты әрекет етеді. Өткізгіштік аймағының электрондарын қарастырайық, бірақ кемтіктердің де нәтижесі ұқсас болады. Біздің параболалық өткізгіштік аймағы үшін: $(E - E_0) = \hbar^2 k^2 / 2m^*$. L_x -тен L_y -ге L_z арқылы тікбұрышты көлемдегі электрондар үшін шексіз шектеу потенциалы $U(x, y, z) = 0$ (қораптың ішінде және сыртында ∞) толқындық функция ψ шекаралардағы электрондар нөлге ұмтылып, аймақ ішіндегі гармоникалық функция түрінде болуы керек. Толқындық функцияны шешу:

$$\psi(x, y, z) = \sin(k_x x) \sin(k_y y) \sin(k_z z),$$

мұндағы k_x, k_y және k_z – x, y және z бағыттарындағы электронға арналған толқындық векторлар. Қатты күйдегі нақты толқындық функция күрделірек және периодты (кристалдық тормен), бірақ жолақ жиектеріне жақын параболалық аймақтар үшін жақсы жуықтау болып табылады.

Шекаралық шарттардың орындалуы: x, y немесе $z=0$ кезінде синусоидалы функциялар нөлге айналады. Тік бұрышты аймақтың қарама-қарсы шекараларында x, y және z бағыттары үшін $\sin(k_x L_x) = 0, \sin(k_y L_y) = 0, \sin(k_z L_z) = 0$ болады. Рұқсат етілген толқын векторлары қанағаттандырады:

$$k_x L_x = \pi n_x, k_y L_y = \pi n_y, k_z L_z = \pi n_z,$$

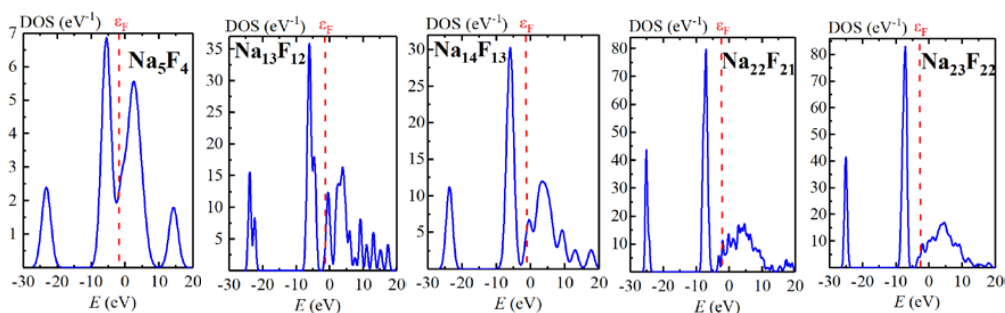
мұндағы n_x, n_y, n_z – бүтін сандар.

Нәтижелер мен талқылау.

Электрондық ішкі жүйені сипаттау кезінде тығыздықтың функционалдық теориясы толқындық функцияны электрондардың тығыздығымен алмастырумен ерекшеленеді. Сілтілік галогенидтердегі аниондық бос орынға түскен электронның құрылымдық және электрондық қасиеттері суперұяшық әдісімен электронды құрылымды есептеудің бірінші принциптерін қолдана отырып зерттелді. Қолданылған теориялық негіз арқылы (Hayal, 2017) F-орталығындағы байланысқан электрон диаметрі тор параметрінен екі есе үлкен сфера ішінде локализацияланғаны көрсетіледі.

Көптеген жағдайларда тығыздықтың функционалдық теориясы әдісі Хартри-Фок және Кон-Шэм формализмдерімен бірге қолданылады. Кон-Шэм формализмінің аясында статикалық сыртқы өрістегі бірнеше өзара әрекеттесетін электрондарды сипаттау мәселесі қандай да бір тиімді потенциалда қозғалатын тәуелсіз электрондардың қарапайым мәселесіне дейін азаяды. Қазіргі уақытта тығыздықтың функционалдық теориясы әдісі кванттық химияда да, қатты денелер физикасы саласында да негізгі тәсіл болып табылады.

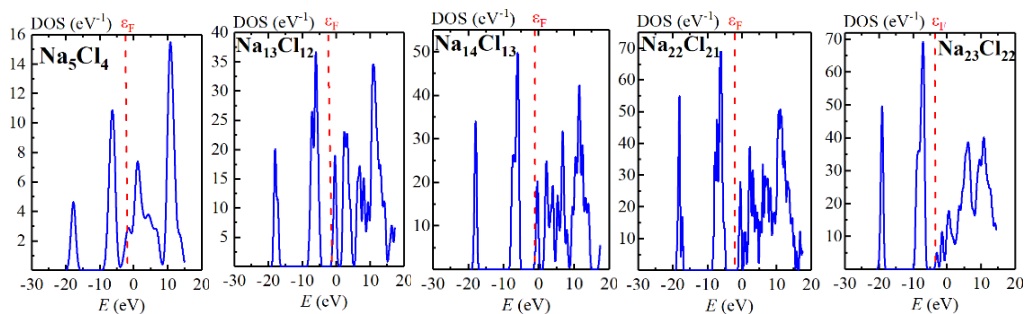
Компьютерлік модельдеу арқылы NaF нанокристалының әртүрлі кластерлік қосылыстарының (Na_5F_4 , $\text{Na}_{13}\text{F}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{F}_{13}$, $\text{Na}_{22}\text{F}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{F}_{22}$) күй тығыздығы спектрлері алынды (2-сурет). Мәліметтерге сәйкес, энергия деңгейлері -30-дан 20 эВ аралығында орналасқан. Барлық NaF кристалының кластерлік қосылыстарында негізгі шыңдар -24-25 эВ нүктелерінде байқалады. Негізгі шыңдар Na_5F_4 , $\text{Na}_{13}\text{F}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{F}_{13}$ нанокристалдары үшін -6 эВ нүктесінде, ал $\text{Na}_{22}\text{F}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{F}_{22}$ нанокристалдары үшін -8 эВ нүктесінде байқалады. Бұл мәліметтер әртүрлі кластерлік құрылымдардың электрондық құрылымы арасындағы ұқсастықтарды және айырмашылықтарды түсінуге көмектеседі.



Сурет 2. NaF нанокристалдарының күй тығыздығының спектрлері

3-суретте NaCl нанокристалының әртүрлі кластерлік қосылыстарындағы (Na_5Cl_4 , $\text{Na}_{14}\text{Cl}_{13}$, $\text{Na}_{13}\text{Cl}_{12}$, $\text{Na}_{23}\text{Cl}_{22}$, $\text{Na}_{22}\text{Cl}_{21}$) күй тығыздығының спектрлері көрсетілген, олар ұқсас әдіспен -20-дан 15 эВ аралығындағы интервалда алынған. Na_5Cl_4 нанокристалының күй тығыздығы спектрі үш негізгі шыңнан тұрады, оның біріншісі -6,5 эВ нүктесінде, ал ең биік шыңы 11 эВ нүктесінде орналасқан. Негізгі

шың -18 эВ нүктесінде орналасқан және бұл барлық келесі нанокристалдарда да байқалады. $\text{Na}_{14}\text{Cl}_{13}$, $\text{Na}_{13}\text{Cl}_{12}$ және $\text{Na}_{22}\text{Cl}_{21}$ нанокристалдарының басты шыңы -6 эВ нүктесінде орналасса, $\text{Na}_{23}\text{Cl}_{22}$ нанокристалында бұл шың -6,5 эВ нүктесінде байқалады. Бұл нәтижелер, өз кезегінде, әртүрлі кластерлік құрылымдардың электрондық қасиеттерін зерттеуге және олардың ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді.



Сурет 3. of NaCl нанокристалдарының күй тығыздығының спектрлері

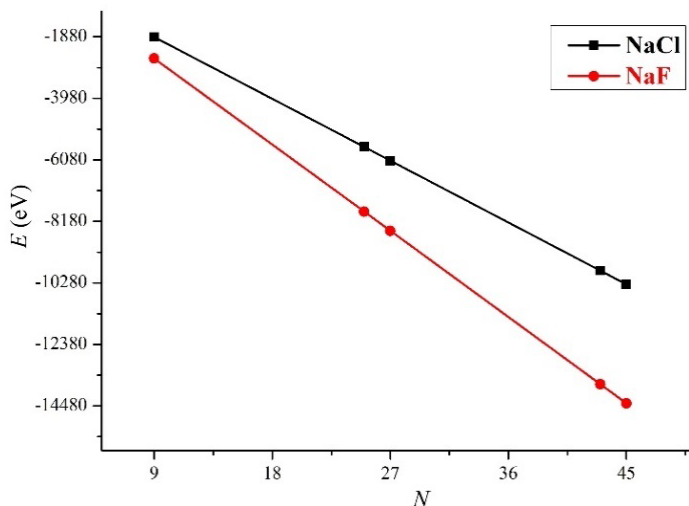
1-кестеде NaF және NaCl нанокристалдарының толық және меншікті энергиясының сандық деректері көрсетілген. NaCl нанокристалдық кластерлік қосылыстарының (Na_5Cl_4 , $\text{Na}_{13}\text{Cl}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{Cl}_{13}$, $\text{Na}_{22}\text{Cl}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{Cl}_{22}$) толық энергиясы -1884.05 эВ-тан -10331.78 эВ-қа дейін өзгереді, ал меншікті энергия -209.33 эВ-тан -229.59 эВ-қа дейінгі аралықта орналасқан. NaF нанокристалдық кластерлік қосылыстары (Na_5F_4 , $\text{Na}_{13}\text{F}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{F}_{13}$, $\text{Na}_{22}\text{F}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{F}_{22}$) үшін толық энергия диапазоны -2618.73 эВ-тан -14391.09 эВ-қа дейін, ал меншікті энергия -290.97 эВ-тан -319.80 эВ-қа дейін өзгереді. Бұл деректер нанокристалдардың энергетикалық сипаттамаларын салыстыруға және олардың құрылымына байланысты энергия өзгерісін түсінуге мүмкіндік береді.

Кесте 1 – NaF және NaCl нанокристалдарының толық және меншікті энергиясы

Нанокристалл	Толық энергия, эВ	Меншікті энергия, эВ	Нанокристалл	Толық энергия, эВ	Меншікті энергия, эВ
Na_5Cl_4	-1,884.05	-209.33	Na_5F_4	-2,618.73	-290.97
$\text{Na}_{13}\text{Cl}_{12}$	-5,636.68	-225.46	$\text{Na}_{13}\text{F}_{12}$	-7,846.92	-313.87
$\text{Na}_{14}\text{Cl}_{13}$	-6,109.61	-226.28	$\text{Na}_{14}\text{F}_{13}$	-8,503.89	-314.95
$\text{Na}_{22}\text{Cl}_{21}$	-9,859.06	-229.28	$\text{Na}_{22}\text{F}_{21}$	-13,734.37	-319.40
$\text{Na}_{23}\text{Cl}_{22}$	-10,331.78	-229.59	$\text{Na}_{23}\text{F}_{22}$	-14,391.09	-319.80

4-суретте NaF (Na_5F_4 , $\text{Na}_{13}\text{F}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{F}_{13}$, $\text{Na}_{22}\text{F}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{F}_{22}$) және NaCl (Na_5Cl_4 , $\text{Na}_{13}\text{Cl}_{12}$, $\text{Na}_{14}\text{Cl}_{13}$, $\text{Na}_{22}\text{Cl}_{21}$, $\text{Na}_{23}\text{Cl}_{22}$) нанокристалдарының кластерлеріндегі элементтер санына байланысты толық энергиялардың графигінің құрылымы көрсетілген. Графикте екі кластерлік объект үшін нүктелердің түзу сызық

бойымен орналасқаны байқалады, яғни олардың арасында сызықтық тәуелділік бар екені анық көрінеді. Бұл сызықтық байланыс кластерлердің мөлшері мен олардың толық энергиясы арасындағы тура пропорцияны көрсетеді, бұл үлкен кластерлердің энергиясының айтарлықтай артуын көрсетеді.



Сурет 4. Толық энергияның NaCl және NaF нанообъектілерінің кластерлік қосылыстарындағы элементтер санына тәуелділігі

Есептеулер тығыздық функционалдық теориясы (DFT) шеңберінде жалпыланған градиентті функционал (GGA) әдісімен жүргізілді. Бұл әдістің сапалық тенденциялары бірқатар галогенидтер үшін алынған мәліметтермен жақсы үйлеседі. Сілтілі галоид иондары үшін энергетикалық аймақтың ені $F > Cl > Br > I$ қатарында азаяды. GGA осы аймақ ені тенденциясын ескере алатындықтан, барлық есептеулер осы жуықтауда орындалды. Оптимизация ATK Lusvardi_SiP_NaCaOF_2008 классикалық потенциалы арқылы жүргізілді, рұқсат етілген күш мәні 0.05 эВ/Å болды. Бұл әдіс есептеулердің дәлдігін қамтамасыз етіп, нанообъектілердің электрондық қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Осы жұмыста Atomistix ToolKit бағдарламасымен Virtual NanoLab интерфейсінде модельдеу жүргізіліп, тығыздық функционалдық теориясы шеңберінде келесі зерттеулер жүзеге асырылды:

NaX ($X = \text{F}, \text{Cl}$) нанообъектілерінің әртүрлі кластерлік қосылыстарында (Na_4X_5 , $\text{Na}_{12}\text{X}_{13}$, $\text{Na}_{13}\text{X}_{14}$, $\text{Na}_{21}\text{X}_{22}$, $\text{Na}_{22}\text{X}_{23}$) күй тығыздығының спектрі мен толық энергиясы 1 K температурасында есептелді. Спектр нәтижелері энергия деңгейлерінің -30 эВ -тан 20 эВ -қа дейінгі диапазонда орналасқанын көрсетті.

Барлық зерттелген кластерлер үшін алғашқы айқын байқалатын тар энергия деңгейі NaF нанокристалында -25 эВ , ал NaCl нанокристалында -20 эВ

аймағында анықталды. Бұл негізгі деңгейлер электрондық құрылымның тұрақты ерекшеліктерін көрсетеді.

Кластерлік қосылыстардағы элементтер санына байланысты толық энергияның өзгеруін талдау нәтижелері олардың арасындағы тәуелділіктің сызықтық сипатта екенін көрсетті. Бұл үлкен кластерлердің энергиясы элементтер санына тура пропорционалды өсетінін білдіреді.

Зерттеу нәтижелерікүй тығыздығының айрықша сипаты бұл нанообъектілерді кванттық нүктелер ретінде қарастыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Кванттық нүктелердің айрықша электрондық құрылымы олардың оптикалық, электрондық және кванттық құрылғыларда қолдану мүмкіндігін арттырады.

Әдебиеттер

Baker, M.D., Baker, A.D., Hanusa, C.R.H., Paltoo, K., Danzig, E., Belanger, J. (2013). Натрий хлориді нанотүтікшелеріндегі байланыс: Маделунг тұрақтылары және когезиялық энергиялар арқылы жана талдау. *Journal of Physical Chemistry*, 117(48), 25742–25747. DOI: 10.1021/jp405978d

Bichoutskaia, E., Puper, N.C. (2006). LiF тізбектерінің құрылымы мен энергетикасы аз өлшемді сілтілігалоидты нанокристалдар үлгісі ретінде. *Chemical Physics Letters*, 423, 234–239. DOI: 10.1016/j.cplett.2006.03.043

Bryukvina, L., Ivanov, N., Nebogin, S. (2018). Литий және натрий нанобөлшектері арасындағы байланыстар мен LiF және NaF кристалдарындағы түсті орталықтардың гидроксид және магний иондары қоспаларымен түзілуі. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 120, 133–139. DOI: 10.1016/j.jpics.2018.04.001

Chen, Y., Nie, W., Peng, Z., Yu, F., Yang, J., Li, Y. (2022). Фермент тәрізді белсенділігі бар стронций оксидтері: бисфенолдарды жоғары сезімтал ажыратуға арналған колориметриялық сенсорлар массиві. *Sens. Actuators B: Chem.*, 364, 131869. DOI: 10.1016/j.snb.2022.131869

Fernandez-Lima, F.A., Henkes, A.V., da Silveira, E.F., Nascimento, M.A. (2012). Сілтілігалоидты нанотүтікшелер: құрылымы және тұрақтылығы. *Journal of Physical Chemistry*, 116, 4965–4969. DOI: 10.1021/jp208090j

Gopikrishnan, C.R., Jose, D., Datta, A. (2012). Сілтілі галогенидтердің электрондық құрылымы, тор энергиялары және Борн көрсеткіштері: бірінші принциптерден алынған нәтижелер. *AIP Advances*, 2, 2(1), 012131. DOI: 10.1063/1.3684608

Istlyaur A., Myasnikova L., Bezrukovs V., Žalga A., Popov A.I. (2024). Сілтілік металл йодиді кристалдарымен инкапсуляцияланған көміртегі нанотүтікшелерінің электрлік қасиеттерін компьютерлік модельдеу. *Fizika Nizkikh Temperatur*, 50, 997 – 1004

Istlyaur A., Myasnikova L., Sergeyev D., Konuhova M., Popov, A.I. (2024). NaF нанотүтікшелерінің күй тығыздығы мен тыйым салынған аймағын компьютерлік модельдеу. *Low Temperature Physics*, 50(7), 569–573. DOI: 10.1063/10.0026283

Lumeau, J., Chamma, K., Glebova, L., Glebov, L. (2014). Фототерморелактивті шыныдағы NaF нанокристалдарын рентгендік дифракциялық зерттеу. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 405, 188–195. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2014.09.019

Mamula, B.P., Kuzmanović, B., Ilić, M.M., Ivanović, N., Novaković, N. (2018). Кейбір қарапайым иондық жүйелердің байланыс механизмі: Сілтілі галогенидтер мен гидридтердің Bader топологиялық талдауын қайта қарау. *Physica B: Condensed Matter*, 545, 146–151. DOI: 10.1016/j.physb.2018.06.008

Messaoudi, I.S., Zaoui, A., Ferhat, M. (2015). Сілтілі галогенидтердегі тыйым салынған аймақ және фондық таралу. *Physica Status Solidi B*, 252(3), 490–495. DOI: 10.1002/pssb.201451268

Myasnikova, A., Mysovskaya, A., Paklin, A., Shalaev, A. (2015). LiF және NaF кристалдарындағы мыс қоспасының құрылымы мен оптикалық қасиеттері: ab initio есептеулері. *Chemical Physics Letters*, 633, 218–222. DOI: 10.1016/j.cplett.2015.05.033

Pandey, R., Yang, X., Vail, J.M., Zuo, J. (1992). NaF кластерлерін бірінші принциптерден туындайтын жұптық потенциалдарды алу және модельдеу. *Solid State Communications*, 81(7), 549–552. DOI: 10.1016/0038-1098(92)90409-3

Safari, M., Maskaneh, P., Moghadam, A.D., Jalilian, J. (2016). Литий галогенидті моноқабаттар: Бірінші принциптер бойынша құрылымдық, электрондық және оптикалық қасиеттер. *Physica E*, 83, 426-433. DOI: 10.1016/j.physe.2016.01.025

Salih, E., Ayesh, A.I. (2020). NO, NO₂ және NH₃ газдарын анықтауға арналған зигзаг тәрізді графен наножолағының сезу өнімділігін арттыру. *Sensors*, 20, 3932. DOI: 10.3390/s20143932

Salih, E., Ayesh, A.I. (2021). Pt-қоспаланған қолтықтық графен наножолағы: CO және CO₂ газдарын анықтауға арналған сенсорлық DFT зерттеуі. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 125, 114418. DOI: 10.1016/j.physe.2020.114418

Shahrokhi, M., Mortazavi, B. (2018). Литий галогенидті моноқабаттар: Бірінші принциптерге негізделген көп денелі есептеулер. *Computational Materials Science*, 143, 103-111. DOI: 10.1016/j.commatsci.2017.11.003

Vemuri, S.K., Chaliyawala, H., Ray, A., Mukhopadhyay, I. (2022). Азотпен қоспаланған графен парақтарын әзірлеуге қуатты тәсіл: Теориялық және эксперименттік негіз. *Journal of Materials Science*, 57, 10714–10723. DOI: 10.1007/s10853-022-07239-z

Zhanturina, N., Aimaganbetova, Z., Drozdowski, W., Taimuratova, L., Seitmuratov, A. (2022) KBr және KCl кристалдарындағы термостимульденген люминесценцияның қармау орталықтарының параметрлерін анықтау. «ҚР ҰҒА баяндамалары» ғылыми журналы, (2), 99–107. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.151>

References

Baker, M.D., Baker, A.D., Hanusa, C.R.H., Paltoo, K., Danzig, E., Belanger, J. (2013). Bonding in Sodium Chloride Nanotubes: A New Analysis via Madelung Constants and Cohesive Energies. *Journal of Physical Chemistry*, 117(48), 25742–25747. DOI: 10.1021/jp405978d

Bichoutskaia, E., Pyper, N.C. (2006). Structure and energetics of LiF chains as a model for low dimensional alkali halide nanocrystals. *Chemical Physics Letters*, 423, 234–239. DOI: 10.1016/j.cplett.2006.03.043

Bryukvina, L., Ivanov, N., Nebogin, S. (2018). Relationships between lithium and sodium nanoparticles and color centers formation in LiF and NaF crystals with hydroxide and magnesium ions impurities. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 120, 133-139. DOI: 10.1016/j.jpcs.2018.04.001

Chen, Y., Nie, W., Peng, Z., Yu, F., Yang, J., Li, Y. (2022). Strontium oxides with enzyme-like activity: A colorimetric sensor array for highly sensitive discrimination of bisphenols. *Sens. Actuators B: Chem.*, 364, 131869. DOI: 10.1016/j.snb.2022.131869

Fernandez-Lima, F.A., Henkes, A.V., da Silveira, E.F., Nascimento, M.A. (2012). Alkali Halide Nanotubes: Structure and Stability. *Journal of Physical Chemistry*, 116, 4965–4969. DOI: 10.1021/jp208090j

Gopikrishnan, C.R., Jose, D., Datta, A. (2012). Electronic structure, lattice energies and Born exponents for alkali halides from first principles. *AIP Advances*, 2, 2(1), 012131. DOI: 10.1063/1.3684608

Istlyaup A., Myasnikova L., Bezrukovs V., Žalga A., Popov A.I. (2024). Computer simulation of the electrical properties of carbon nanotubes encapsulated with alkali metal iodide crystals. *Fizika Nizkikh Temperatur*, 50, 997 – 1004

Istlyaup A., Myasnikova L., Sergeyev D., Konuhova M., Popov, A.I. (2024). Computer simulation of the density of states and band structure of NaF nanotubes. *Low Temperature Physics*, 50(7), 569–573. DOI: 10.1063/1.5026283

Lumeau, J., Chamra, K., Glebova, L., Glebov, L. (2014). X-ray diffraction study of NaF nano-crystals in photo-thermo-refractive glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 405, 188–195. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2014.09.019

Mamula, B.P., Kuzmanović, B., Ilić, M.M., Ivanović, N., Novaković, N. (2018). Bonding mechanism of some simple ionic systems: Bader topological analysis of some alkali halides and hydrides revisited. *Physica B: Condensed Matter*, 545, 146-151. DOI: 10.1016/j.physb.2018.06.008

Messaoudi, I.S., Zaoui, A., Ferhat, M. (2015). Band-gap and phonon distribution in alkali halides. *Physica Status Solidi B*, 252(3), 490–495. DOI: 10.1002/pssb.201451268

Myasnikova, A., Mysovskaya, A., Paklin, A., Shalaev, A. (2015). Structure and optical properties of

copper impurity in LiF and NaF crystals from ab initio calculations. *Chemical Physics Letters*, 633, 218-222. DOI: 10.1016/j.cplett.2015.05.033

Pandey, R., Yang, X., Vail, J.M., Zuo, J. (1992). Derivation of Pair Potentials from First Principles and Simulation of NaF Clusters. *Solid State Communications*, 81(7), 549-552. DOI: 10.1016/0038-1098(92)90409-3

Safari, M., Maskaneh, P., Moghadam, A.D., Jalilian, J. (2016). Lithium halide monolayers: Structural, electronic and optical properties by first principles study. *Physica E*, 83, 426-433. DOI: 10.1016/j.physe.2016.01.025

Salih, E., Ayeshe, A.I. (2020). Enhancing the Sensing Performance of Zigzag Graphene Nanoribbon to Detect NO, NO₂, and NH₃ Gases. *Sensors*, 20, 3932. DOI: 10.3390/s20143932

Salih, E., Ayeshe, A.I. (2021). Pt-doped armchair graphene nanoribbon as a promising gas sensor for CO and CO₂: DFT study. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 125, 114418. DOI: 10.1016/j.physe.2020.114418

Shahrokhi, M., Mortazavi, B. (2018). Lithium halide monolayer sheets: First-principles many-body calculations. *Computational Materials Science*, 143, 103-111. DOI: 10.1016/j.commatsci.2017.11.003

Vemuri, S.K., Chaliyawala, H., Ray, A., Mukhopadhyay, I. (2022). A powerful approach to develop nitrogen-doped graphene sheets: Theoretical and experimental framework. *Journal of Materials Science*, 57, 10714–10723. DOI: 10.1007/s10853-022-07239-z

Zhanturina, N., Aimaganbetova, Z., Drozdowski, W., Taimuratova, L., Seitmuratov, A. (2022). Determination of the parameters of capture centers of thermally stimulated luminescence in KBr and KCl crystals. *Scientific Journal «Reports of NAS RK»*, (2), 99–107. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.151>

UDC 521.1

IRSTI 41.03.02

G.T. Omarova*, Zh.T. Omarova, 2024

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;

Email: gulnara.omarova@fai.kz

TO THE ORBITAL DYNAMICS WITH VARIABLE ECCENTRICITY

Omarova Gulnara Tukenovna - PhD in Physics and Mathematics, Senior Scientific Researcher, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, E-mail: Gulnara.omarova@fai.kz; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4782-8545>;

Omarova Zhuldyz Tukenovna - Engineer, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, DAAD Fellowship in Max Plank Institute (Heidelberg, Germany, 2004-2005), E-mail: zhuldyzomarova77@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4825-0178>.

Abstract. The purpose of this work is the development of studies of non-stationary gravitating systems. We consider eccentricity as a function of time because of its numerous interesting consequences for the evolution of young planetary systems. Eccentricity can be an indicator of long-term orbital stability for various planetary and other gravitating systems of the Universe. In particular, recent studies of the dynamic mass of some exoplanets have shown that there is a strong covariation between the eccentricities of the planets and the total mass of the system: higher eccentricities of the planets imply significantly greater total mass with long-term orbital stability. This means that eccentricity is one of the key parameters in the dynamic formation and evolution of non-stationary gravitating systems. The task of the work is to study the influence of orbits with variable eccentricity on the dynamics of non-stationary gravitating systems, which will allow a better understanding of the evolution of various gravitating systems of the Universe. We use the inverse problem method, which provides an essential analytical tool for studying various problems in the field of dynamically gravitating systems. In particular, this method has proven itself in the solution of celestial mechanics problems related to the restoration of potentials and force fields along a given family of orbits. This approach of the reverse method gives a much deeper analytical vision for studying various dynamic systems and understanding their general structure. We consider a generalized non-stationary problem with an additional friction force. As a result, we obtained two types for a non-stationary spatially symmetric potential, generating motion along a given mono-parametric family of plane orbits evolving in time with variable eccentricity.

Keywords: celestial mechanics, non-stationary gravitating system, inverse problem, family of orbits, variable eccentricity

Acknowledgement.

The work is carried out within the framework of the Project No.BR24992759 Development of the concept for the first Kazakhstani orbital lunar telescope - Phase I", financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan).

Г.Т. Омарова*, Ж.Т. Омарова

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы

E-mail gulnara.omarova@fai.kz

АЙНЫМАЛЫ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТІ БАР ОРБИТАЛЫҚ ДИНАМИКАҒА

Омарова Гулнара Төкенқызы - PhD (Физика және Математика), аға ғылыми қызметкер, Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: Gulnara.omarova@fai.kz; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4782-8545>;

Омарова Жұлдыз Төкенқызы - Инженер, Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан, Max Plank Институтының DAAD Стипендиаты (Гейделберг, Германия, 2004-2005), E-mail: zhuldyzomarova77@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4825-0178>.

Аннотация. Бұл жұмыстың мақсаты стационарлық емес гравитациялық жүйелерді зерттеуді дамыту. Біз эксцентриситетті уақыттың функциясы ретінде қарастырамыз, өйткені оның жас планеталық жүйелердің эволюциясы үшін көптеген қызықты жақтары бар. Эксцентриситет Ғаламның әртүрлі планеталық және басқа гравитациялық жүйелері үшін ұзақ мерзімді орбиталық тұрақтылықтың көрсеткіші бола алады. Атап айтқанда, кейбір экзопланеталардың динамикалық массасына жүргізілген соңғы зерттеулер планеталардың эксцентриситеті мен жүйенің жалпы массасы арасында күшті ковариация бар екенін көрсетті: планеталардың жоғары эксцентриситеті жалпы массаның едәуір үлкен болуын білдіреді. Бұл эксцентриситет стационарлық емес гравитациялық жүйелердің динамикалық қалыптасуы мен эволюциясының негізгі параметрлерінің бірі. Жұмыстың міндеті өзгермелі эксцентриситеті бар орбиталардың қозғалмайтын гравитациялық жүйелердің динамикасына әсерін зерттеу, Бұл Ғаламның әртүрлі гравитациялық жүйелерінің эволюциясын жақсы түсінуге мүмкіндік береді. Біз динамикалық гравитациялық жүйелер саласындағы әртүрлі мәселелерді зерттеу үшін маңызды аналитикалық құралды қамтамасыз ететін кері есептер әдісін қолданамыз. Атап айтқанда, бұл әдіс аспан механикасының берілген орбиталар тобы бойындағы потенциалдар мен күш өрістерін қалпына келтіруге байланысты есептерін шешуде өзін дәлелдеді. Кері әдістің бұл тәсілі әртүрлі динамикалық жүйелерді зерттеуге және олардың жалпы құрылымын түсінуге анағұрлым терең аналитикалық көзқарас береді. Біз қосымша үйкеліс күші бар жалпыланған стационарлық емес мәселені қарастырамыз. Нәтижесінде стационарлық емес кеңістіктік симметриялық потенциалдың екі түрін алдық, олар белгілі бір монопараметрлік отбасы бойымен ауыспалы эксцентриситетпен уақыт бойынша дамиды жазықтық орбиталарының қозғалысын тудырды.

Түйін сөздер: аспан механикасы, стационарлық емес тартылыс жүйесі, кері есеп, орбиталар тобы, айнымалы эксцентриситет.

Г.Т. Омарова*, Ж.Т. Омарова, 2024.

Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы.

E-mail: gulnara.omarova@fai.kz

К ОРБИТАЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ С ПЕРЕМЕННЫМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ

Омарова Гульнара Туkenовна – PhD (кандидат физико-математических наук), Старший научный сотрудник, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, E-mail: Gulnara.omarova@fai.kz, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4782-8545>;

Омарова Жұлдыз Туkenовна – Инженер, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, DAAD Стипендиат в Институте Max Plank (Гейдельберг, Германия, 2004-2005), E-mail: zhuldyzomarova77@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4825-0178>.

Аннотация. Целью данной работы является развитие исследований нестационарных гравитирующих систем. Мы рассматриваем эксцентриситет как функцию времени из-за его многочисленных интересных последствий для эволюции молодых планетных систем. Эксцентриситет может быть показателем долгосрочной орбитальной стабильности для различных планетных и других гравитирующих систем Вселенной. В частности, недавние исследования динамической массы некоторых экзопланет показали, что существует сильная ковариация между эксцентриситетами планет и общей массой системы: более высокие эксцентриситеты планет подразумевают существенно большую общую массу с долгосрочной орбитальной стабильностью. Это означает, что эксцентриситет является одним из ключевых параметров в динамическом формировании и эволюции нестационарных гравитирующих систем. В работе ставится задача изучить влияние орбит с переменным эксцентриситетом на динамику нестационарных гравитирующих систем, что позволит лучше понять эволюцию различных гравитирующих систем Вселенной. Мы используем метод обратной задачи, который предоставляет существенный аналитический инструмент для изучения различных задач в области динамики гравитирующих систем. В частности, этот метод зарекомендовал себя в решении задач небесной механики, связанных с восстановлением потенциалов и силовых полей по заданному семейству орбит. Этот подход обратного метода дает гораздо более глубокое аналитическое видение для изучения различных динамических систем и понимания их общей структуры. Мы рассматриваем обобщенную нестационарную задачу с добавочной силой трения. В результате были получены два вида нестационарного пространственно-симметричного потенциала, которые порождают движение по заданному однопараметрическому семейству эволюционирующих во времени плоских орбит с переменным эксцентриситетом.

Ключевые слова: небесная механика, нестационарная гравитирующая система, обратная задача, семейство орбит, переменный эксцентриситет.

Introduction

It is a fundamental fact that the orbital elements are very useful in a variety of tasks in the field of celestial mechanics.

Albeit they are coming also to be a significant tool in astrophysical studies of the orbital dynamics of young planetary systems or in study of isolated evolution or dynamical formation of the growing population of compact binary mergers detected with gravitational waves (Romero-Shaw, et al, 2020; Romero-Shaw, et al, 2022). Plus, the eccentricity is one of the intrinsic parameters of merging black holes (Armitage, et al, 2005) and short-period comets (Gkotsinas, et al, 2023; Kim, et al, 2023).

Indeed, the orbital dynamics of young planetary systems determines the long-term architecture and evolution of those systems. Nonzero orbital eccentricity is arguably the most robust signature of their dynamical formation (Romero-Shaw, et al, 2022). Eccentricity as a function of time was, for example, considered for study of one of the closest young planetary systems (currently known as AU Microscopii) with a suite of dynamical simulations that explored the eccentricity evolution of the two known planets over a period of 10^3 yr showing that the period of the eccentricity variations is about 520 yr and such eccentricity oscillations have the potential to reduce the stability potential of other planets within the system, including terrestrial planets within the habitable zone (HZ) (Kane, et al, 2023). Another one example of young planetary system is the Exoplanet Host Star HR 8799 hosting four directly imaged giant planets at wide separations (~ 16 – 78 au) (Sepulveda, et al, 2022), which are undergoing orbital motion and have been continuously monitored with adaptive optics imaging since their discovery over a decade ago. In earlier studies was found that the extrasolar planets with semi-major axes greater than about 0.15AU (astronomical units) tend to have much higher eccentricities than are found in our solar system (Korzennik, et al, 2000). Study of dynamical mass of this exoplanet showed there is strong covariance between planet eccentricities and total system mass: higher planet eccentricities imply a substantially larger total mass with long-term orbital stability. The orbital eccentricities of exoplanets directly trace their formation and dynamical histories (Bowler, et al, 2020; Franson, et al, 2022; Kane, et al, 2023; Naganawa, et al, 2002; Korzennik, et al, 2000).

Most extrasolar planets are observed to have eccentricities much larger than those in the solar system (Sepulveda, et al, 2022), The eccentricity of the orbit, among the highest known for extra solar planets, continues the trend that extra solar planets with semi-major axes greater than about 0.15AU tend to have much higher eccentricities than are found in our solar system (Korzennik, et al, 2000).

The relatively high eccentricity of HD17156b poses an interesting question regarding the dynamical origin of the orbit (Kane, et al, 2023). This demonstrates the viability of the planet–planet scattering scenario as the source of its eccentricity.

We study the effect of the variable eccentricity in the non-stationary gravitating system with additional forces of friction nature. We showed from the inverse problem point of view how the dynamical evolution of such system depends on variable eccentricity. We received an interesting solution of the generalized model problem of the celestial mechanics, which under any initial conditions determines a motion along set of evolving quasi conic orbits with variable eccentricity.

It can be anticipated, that our solution will provide one of the analytical tools to explain the dynamical effects of the variable eccentricity of exoplanets and other astrophysical objects.

Materials and methods

In this paper we build an analytical approach to the dynamical evolution of a variety of gravitating systems with the help of the inverse problem method and coherent partial differential equation solution method.

We assume the orbital eccentricity as a function of time in order to better understand the time-dependent dynamical effects of the variable eccentricities on the dynamical structure of the force field of the non-stationary gravitating system with additional forces of friction nature.

With this aim we consider a generalized non-stationary potential with additional friction force, described by equations in the form

$$\ddot{x} = U_x + \alpha \dot{x} \quad , \quad \ddot{y} = U_y + \alpha \dot{y} \quad , \tag{1}$$

where $U = U(x, y, t)$ is a non-stationary potential, $\alpha = \alpha(t)$ is a magnitude generally depending on time and characterizing the action of additional forces of friction nature.

Let us take a monoparametric family of evolving in time planar orbits

$$f(x, y, t) = u = \text{const}, \tag{2}$$

Assuming the motion of a material point of a unit mass on given family of orbits (2), according to equations (1), consider the problem of reconstruction of the non-stationary potential $U = U(x, y, t)$ generating the given mono-parametric family $f(x, y, t) = u$ of evolving in time planar orbits.

The system (1) possesses the integral of the form

$$m(x\dot{y} - y\dot{x}) \equiv C(t). \tag{3}$$

where the following notation is used:

$$m = \exp \left\{ - \int_{t_0}^t \alpha dt \right\} \tag{4}$$

where t_0 - is some initial epoch.

In polar coordinates r and ϕ , assuming that the potential $U = U(r, \phi, t)$ is spherically symmetrical, ($U_\phi = 0$) we have the following equation (Omarova, et al, 2003)

$$\begin{aligned} & f_r U_r + \frac{C}{r^5 f_r^2} (r f_{rr} f_\phi^2 + r f_r^2 f_{\phi\phi} - 2 r f_r f_\phi f_{r\phi} + r^2 f_r^3 + 2 f_r f_\phi^2) - \\ & - \frac{2C}{r^2 f_r} (f_r f_{\phi t} - f_\phi f_{rt}) + \frac{2C f_t}{r^3 f_r^2} (f_r f_\phi - r f_r f_{r\phi} + r f_{rr} f_\phi) + \frac{f_t^2 f_{rr}}{f_r^2} - \frac{2 f_r f_{rt}}{f_t} + \\ & + f_{tt} - \alpha f_t = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

We obtained the above partial differential equation in polar coordinates can be resolved with respect to non-stationary space symmetrical ‘potential’ function generating motion on given mono-parametric family of evolving in time planar orbits with variable eccentricity. The results is given as below.

Research results and discussion

A planetary parameter of exoplanets that can be presently measured is the orbital eccentricity. This parameter is most often extracted from the Keplerian orbital solution to RV observations of a bright host star. The primary purpose of the study described in this work could then be seen as placing constraints on the variable flux from the measurable parameter of eccentricity as a proxy for the presently unknown obliquity of the exoplanet.

We propose to take the function $f(r, \phi, t)$ to be the set of evolving quasi conic orbits

$$f(r, \phi, t) = r\gamma(1 + e(t)\cos(\phi - \omega)) = p \tag{6}$$

where p, ω are the constants, denoting a dimension and orientation of the orbit on the invariable plane, $e = e(t)$ denotes the evolving eccentricity, meaning a variation of the orbit shape over time, $\gamma = \gamma(t)$ - is yet some rather arbitrary function of time.

By substituting (6) into (5), we obtain the following partial differential equation:

$$U_r + \frac{C^2\gamma}{pr^2} - \frac{2\gamma^2\dot{e}^2}{p^2e^2} r^3 + Er^2 + Ar - \frac{2C\gamma\dot{e}}{p^2e} R = 0, \tag{7}$$

where for brevity, we introduced the below notations \mathcal{D}

$$E = \frac{\gamma}{p} \left(\frac{\alpha\dot{e}}{e} + \frac{2\dot{\gamma}\dot{e}}{\gamma e} + \frac{4\dot{e}^2}{e^2} - \frac{\ddot{e}}{e} \right) \tag{8}$$

$$A = \frac{\ddot{\gamma}}{\gamma} - \frac{\alpha\ddot{\gamma}}{\gamma} - \frac{2\dot{\gamma}^2}{\gamma} - \frac{2\dot{\gamma}\dot{\alpha}}{\gamma e} + \frac{\ddot{e}}{e} - \frac{\alpha\dot{e}}{e} - \frac{2\dot{e}^2}{e^2} \tag{9}$$

$$R = \sqrt{\gamma^2(e^2 - 1)r^2 - 2p\gamma r - p^2}. \tag{10}$$

The solution of Eq. (7) up to an arbitrary explicit function of time has the following form:

$$1. \quad \text{If } e > 1 \quad U(r, t) = \frac{C^2\gamma}{pr} + \frac{\gamma^2\dot{e}^2}{2p^2e^2} r^4 - E \frac{r^3}{3} - A \frac{r^2}{2} + \frac{C\gamma\dot{e}}{p^2e} \left(Rr + \frac{pR}{\gamma(e^2-1)} - \frac{p^2e^2}{\gamma\sqrt{(e^2-1)^3}} \ln 2\gamma \left(\sqrt{(e^2-1)^3} R + \gamma(e^2-1)r + p \right) \right) \tag{11}$$

$$2. \quad \text{If } e < 1 \quad U(r, t) = \frac{C^2\gamma}{pr} + \frac{\gamma^2\dot{e}^2}{2p^2e^2} r^4 - E \frac{r^3}{3} - A \frac{r^2}{2} + \frac{C\gamma\dot{e}}{p^2e} \left(Rr + \frac{pR}{\gamma(e^2-1)} - \frac{p^2e^2}{\gamma\sqrt{1-e^2(e^2-1)}} \arcsin \frac{\gamma(e^2-1)r+p}{pe} \right) \tag{12}$$

We received two solutions of the partial differential equation (5) for the given family of evolving orbits (6) with variable eccentricity.

Conclusions

The recent studies show, that the orbital eccentricities of directly imaged exoplanets and brown dwarf companions provide clues about their formation and dynamical histories (Bowler, et al, 2020; Franson, et al, 2023; Franson, et al, 2023; Sepulveda, et al, 2022), reporting the evidence that the “eccentricity dichotomy” observed at small separations extends to planets on wide orbits: the mean eccentricity for the multi-planet system HR 8799 is lower than for systems with single planets. Low mass ratio companions preferentially have low eccentricities (Sepulveda, et al, 2022),

Exoplanet discovered over recent years have shown that terrestrial planets are exceptionally common. Exoplanetary studies are rapidly requiring the need for characterization techniques for terrestrial planets as their discovery rate continues to increase and many of these planets are in compact systems that result in complex orbital dynamics (Kane, et al, 2017)..

Our study concluded, that the analytically derived solution of Eq. (7) depends on magnitude of the function and splits down to two results. In the first result ($e > 1$) we have a non-stationary potential (11), generating the set of evolving quasi conic orbits of hyperbolic type. This solution can be very useful for study of comet dynamics. In the second result ($e < 1$) we have a non-stationary potential (12), giving rise to the set of evolving quasi conic orbits of elliptic form. And this second result we suppose can be used for study of the orbital dynamics of young planetary systems and brown dwarf companions.

In both cases, a non-stationary potential determines central force

$$\vec{F} = -\frac{C^2\gamma}{pr^3}\vec{r} + \frac{2\gamma^2\dot{e}^2}{p^2e^2}r^2\vec{r} - Er\{\vec{r} - A\vec{r} + \frac{C\gamma\dot{e}(R+1)}{p^2er}\vec{r}\} \quad (13)$$

The system of Eq. (1) one can rewrite in the following form

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{C^2\gamma}{pr^3}\vec{r} + \alpha\dot{\vec{r}} + \beta\vec{r} \quad (14)$$

where in addition to formulas (8) - (10) we used another one notation

$$\beta = \beta(r, t) = \frac{2\gamma^2\dot{e}^2}{p^2e^2}r^2 - Er - A + \frac{C\gamma\dot{e}(R+1)}{p^2er} \quad (15)$$

Thus, with help of Eq. (5) in the generalized non-stationary problem with additional friction force, described by Eq. (1), in this paper we derived a new generalized model problem (14), which under any initial conditions determines a motion along set of evolving quasi conic orbits (6) with variable eccentricity.

References

- Armitage Philip P., Natarajan Priyamada, 2005. Eccentricity of Supermassive Black Hole Binaries Coalescing from Gas-rich Mergers. *ApJ*, 634:921-927. DOI: 10.1086/497108 (in Eng.).
- Bowler Brendan P., Sarah C. Blunt, and Nielsen Eric L., 2020. Population-level Eccentricity Distributions of Imaged Exoplanets and Brown Dwarf Companions: Dynamical Evidence for Distinct Formation Channels. *AJ*, 159:63 (52pp.).
- Franson Kyle, Bowler Brandan P. et al, 2022. Dynamical Mass of the Young Substellar Companion HD 984 B. *AJ*, 163:50 (17pp).
- Franson Kyle, Bowler Brandan P., 2023. Dynamical Mass of the Young Brown Dwarf Companion PZ Tel B. *AJ*, 165:246 (10pp).
- Gkotsinas Anastasius, Lepoutre - Aurelie et al., 2023. On Averaging Eccentric Orbits: Implications for the Long-term Thermal Evolution of Comets. *AJ*, 165 Guilbert-:67.
- Kane Stephen R., Torres Stephanie M., 2017. Obliquity and Eccentricity Constraints for Terrestrial Exoplanets. *AJ*, 154:204.
- Kane Stephen R., Foley Bradford J. et al., 2022. Orbital Dynamics and the Evolution of Planetary Habitability in the AU Mic System. *AJ*, 163:20 (13pp).
- Kane Stephen R., Hill Michelle L. et al., 2023. Revised Properties and Dynamical History for the HD 17156 System. *AJ*, 165:252(11pp.).
- Nagasawa M., Lin D.N.C.et al., 2002. Eccentricity Evolution of Extrasolar Multiple Planetary Systems Due to the Depletion of Nascent Protostellar Disks. *ApJ*, 586: 1374-1393.
- Korzennik Sylvain G., Brown Timothy M. et al., 2000. A High-Eccentricity Low-Mass Companion to HD 89744, *ApJ*, 533: L147-L150.
- Kim Yoonyoung, Jewitt David et al. 2023. Comet 108P/Ciffreo: The Blob. *AJ*, 165:150.
- Omarova G.T., Omarov T.B., 2003. Reconstruction of a non-stationary potential of gravitating systems on given evolving orbits. *Celest. Mech. & Dyn. Astron.*, 85. P. 25-35.
- Romero - Shaw Isobel, Lasky Paul D. et al., 2020. GW190521: Orbital Eccentricity and Signatures of Dynamical Formation in a Binary Black Hole Merger Signal. *ApJ*, 903: L5 (7pp.).
- Romero - Shaw Isobel, Lasky Paul D. et al., 2022. Four Eccentric Mergers Increase the Evidence that LIGO-Virgo-KAGRA's Binary Black Holes Form Dynamically. *ApJ*, 940: 171 (18pp).
- Sepulveda Aldo G., Bowler Brendan P., 2022. Dynamical Mass of the Exoplanet Host Star HR 8799. *AJ*, 163:52 (19pp.).
- Vowell Noah, Rodrigues Joseph E. et al., 2023. HIP 33609 b: An Eccentric Brown Dwarf Transiting a $V = 7.3$ Rapidly Rotating B Star. *AJ*, 165: 268 (13pp).

IRSTI 89.21.51, 89.25.47

A.V. Serebryanskiy*, Ch.T. Omarov, G.K. Aimanova, M.A. Krugov, 2024.

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

SPECTRAL OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES AT THE ASSY-TURGEN OBSERVATORY IN KAZAKHSTAN

A.V. Serebryanskiy – corresponding author, PhD in physics-astronomy, Head of Observational Astrophysics Department of the Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, E-mail: aserebryanskiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Ch.T. Omarov – candidate of physical-mathematical sciences, Professor, Director of the Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, E-mail: chingis.omarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>;

G.K. Aimanova - candidate of physical-mathematical sciences, Leading Research Associate of the Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, E-mail: gauharaimanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3869-8913>;

M.A. Krugov – Engineer of the Fesenkov Astrophysical Institute, Observatory 23, 050020, Almaty, Kazakhstan, E-mail: maximkrugov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2788-2176>.

Abstract. Spectral and photometric observations are a unique tool for studying the Resident Space Objects (RSO). Spectral observations are of particular value. They are precious sources of information in identifying and classifying RSO by their spectral features and studying the variation of these features caused by the influence of space weathering. The paper we present shows the results of the geostationary satellite (GEO) reflection spectra analysis. We use spectral observations to analyze reflective spectra and relevant parameters to develop the methodology of satellite identification. Spectral observations were obtained on the spectrograph mounted on a 1.5-meter telescope AZT-20 of the Assy-Turgen Observatory. Photometric characteristics derived from spectral observations show signs of dependence on the platform of a satellite and its service life in orbit. Comparison of observed and model reflective spectra indicates the possibility of identifying the satellite shape and its composite materials. The results of the work will be of interest for the study of space weathering on materials, will allow us to better understand the situation in GEO orbits, and refine the methods for near-miss events prediction, taking into account the geometry of objects and the properties of their surfaces.

Keywords: GEO observations, Spectroscopy, Reflective Spectra, Photometry, Space weathering

Acknowledgement

This research has is funded by the Aerospace Committee of the Ministry of Digital

Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR20381077).

А.В. Серебрянский*, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов, 2024.

«В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты» ЖШС,

Алматы, Қазақстан.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

ҚАЗАҚСТАНДА АССЫ-ТҮРГЕН ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДА ГЕОТҰРАҚТЫ СЕРІКТЕРДІҢ СПЕКТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫ

Серебрянский А.В. – коореспондент автор, физика-астрономия бойынша PhD, “В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институт” ЖШС, Астрофизика бақылау бөлімінің бастығы, Алматы, Қазақстан, E-mail: aserebryanskiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Омаров Ч.Т. – профессор, PhD, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан. e-mail: chingis.omarov@fai.kz, ORCID: 0000-0002-1672-894X;

Айманова Г.К. – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Бас ғылыми қызметкер, доцент, “В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институт” ЖШС, Алматы, Қазақстан, E-mail: gauharaimanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3869-8913>;

М.А. Кругов – инженер “В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институт” ЖШС, Алматы, Қазақстан, E-mail: maximkrugov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2788-2176>.

Аннотация. Ғарыштық объектілерді (ҒО) зерттеуге спектрлік және фотометрлік бақылаулар ерекші негізгі құрал болып табылады. Спектрлік бақылаулар ерекше маңызды. Олар ҒО спектрлік сипаттамалары бойынша анықтау және жіктеу, сондай-ақ ғарыштық ауа-райының аппараттық материалдарға әсерінен туындаған осы сипаттамалардың өзгеруін зерттеу үшін құнды ақпарат көзі болып табылады. Біз ұсынған мақалада геотұрақты серіктердің (ГТС) шағылысу спектрлерін талдау нәтижелері көрсетілген. Біз серіктерді сәйкестендіру әдістемесін әзірлеуге шағылысу спектрлерін және сәйкес параметрлерді талдауға спектрлік бақылауларды қолданамыз. Спектрлік бақылаулар Ассы-Түрген обсерваториясының 1,5 метрлік АЗТ-20 телескопында орнатылған спектрографтың көмегімен алынды. Спектрлік бақылаулардан алынған фотометрлік сипаттамалар серіктердің платформасына және оның орбитадағы қызмет ету мерзіміне тәуелділік белгілерін көрсетеді. Бақыланып және модельдік шағылысу спектрлерін салыстыру серіктің пішінін және қолданылатын материалдарды анықтау мүмкіндігін көрсетеді. Жұмыстың нәтижелері ғарыштық ортаның материалдарға әсерін талдауға қызықты болады және геотұрақты орбиталардағы жағдайды жақсы түсінуге және объектілердің геометриясы мен олардың беттерінің қасиеттерін ескере отырып, жақын жақындықтарды есептеу әдістерін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: геотұрақты серіктерді бақылау, спектроскопия, шағылысу спектрлері, фотометрия, ғарыштық үгілу

А.В. Серебрянский*, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов, 2024.

ТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова»,

Алматы, Казахстан.

E-mail: aserebryanskiy@gmail.com

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА ОБСЕРВАТОРИИ АССЫ-ТУРГЕНЬ В КАЗАХСТАНЕ

А.В. Серебрянский – автор для корреспонденций, PhD в физике-астрономии, Заведующий отделом наблюдательной астрофизии ТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова», Алматы, Казахстан, E-mail: aserebryanskiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4313-7416>;

Ч.Т. Омаров – профессор, PhD, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, e-mail: chingis.omarov@fai.kz, ORCID ID: 0000-0002-1672-894X;

Г.К. Айманова – кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник, доцент, ТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова», Алматы, Казахстан, E-mail: gauharaimanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3869-8913>;

М.А. Кругов – инженер ТОО «Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова», Алматы, Казахстан, E-mail: maximkrugov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2788-2176>.

Аннотация. Спектральные и фотометрические наблюдения являются уникальным инструментом для изучения космических объектов (КО). Спектральные наблюдения имеют особую ценность. Они являются ценным источником информации для идентификации и классификации КО по их спектральным характеристикам, а также для изучения изменений этих характеристик, вызванных влиянием космической погоды на материалы аппаратов. В представленной нами статье показаны результаты анализа спектров отражения геостационарных спутников (ГСО). Мы используем спектральные наблюдения для анализа спектров отражения и соответствующих параметров для разработки методологии идентификации спутников. Спектральные наблюдения получены на спектрографе, установленном на 1,5-метровом телескопе АЗТ-20 обсерватории Ассы-Тургень. Фотометрические характеристики, полученные из спектральных наблюдений, показывают признаки зависимости от платформы спутника и срока его службы на орбите. Сравнение наблюдаемых и модельных спектров отражения указывает на возможность определения формы спутника и используемых материалов. Результаты работы будут интересны для анализа влияния космической среды на материалы и позволят лучше понять ситуацию на геостационарных орбитах и усовершенствовать методы расчета близких сближений с учетом геометрии объектов и свойств их поверхностей.

Ключевые слова: наблюдения геостационарных спутников, спектроскопия, отражательные спектры, фотометрия, космическое выветривание.

Introduction. The Fesenkov Astrophysical Institute (FAI) completed the first stage of creating a Space Situational Awareness (SSA) system in Kazakhstan in 2021-2023. The goal of this stage was to deploy the Space Surveillance and Tracking (SST) segment of SSA at the Assy-Turgen Observatory. One of the tasks of the SSA system

being developed includes assessing the threats in near-Earth space posed by space debris, as well as nonfunctional satellites. To do this, it is necessary to estimate the probabilities of near-miss events (NME) between residence space objects (RSO) and the consequences of such events, as well as the likelihood of destruction of the satellites. To refine predictions of NMEs and possible events of RSO destruction, it is necessary to know the geometry of the objects, their composition (material properties), orientation and dynamics (such as rotation, for example). For objects in geostationary orbit (GEO) and beyond, the main source of such information is optical observations. In particular, optical observations provide photometric estimates of their brightness, as well as astrometric information, which is used to determine the orbital parameters of RSO and to calculate mutual trajectories for the probabilities of NME evaluation.

Moreover, the spectrophotometric characteristics of RSO, such as light curves, colour indices, and reflective spectra, play a key role in identifying satellites (Vananti, et al., 2009; Cowardin et al., 2010; Hejduk et al., 2012; Vananti, et al., 2017; Sukhov, et al., 2017; Šilha, et al., 2021; Zigo, et al., 2021). At the same time, spectrophotometry makes it possible to study the influence of outer space on the properties of materials (Reyes, et al., 2021; Castro, et al., 2023). Some kind of time-resolved analysis was already performed for a single satellite to study the different effects in detail (Bédard, et al., 2017).

Photometric information allows us to estimate key RSO parameters such as the area-to-mass ratio (AMR) (Schildknecht, et al., 2008), its size and geometry, which are of great importance for the accuracy of orbital propagation and the identification of RSO. However, it should be noted that to complete such a task for GEO, when direct imaging of objects is impossible, additional information is required about the properties of the surface of the RSO, such as, for example, albedo, reflection coefficients and their dependence on the wavelength of incident light. In addition, a large limitation on the accuracy of determining these parameters is due to the illumination conditions of the object, which change over time due to the phase angle variation and the unstable position of the RSO itself (for example, due to its rotation). Despite such difficulties, attempts have been made to determine material properties based on colour characteristics from photometric observations (Cardona, et al., 2016; Zhao, et al., 2016). However, considering the difficulties mentioned above, implementing accurate and, most importantly, simultaneous photometry in several filters (wavelength bands) is a rather challenging observational task. In this regard, the technique for analysis of the reflective spectra of RSO looks more promising because it allows one to simultaneously obtain information throughout the entire wavelength range of the spectrum (Bédard et al., 2017; Jorgensen et al., 2004; Seitzer et al., 2012).

In the context of SSA development, we proposed an algorithm to identify the type of RSO presented in Figure 1. In this paper, we focused on two aspects of the presented scheme: the analysis of the reflective spectra and the comparison of the observed characteristics of the reflective spectra with the modelling results. Spectroscopic observation campaigns were performed with the 1.5-meter AZT-20 telescope in Assy-Turgen Observatory (Kazakhstan). The model reflective spectra are obtained using RaySect (Meakins et al., 2023) software.

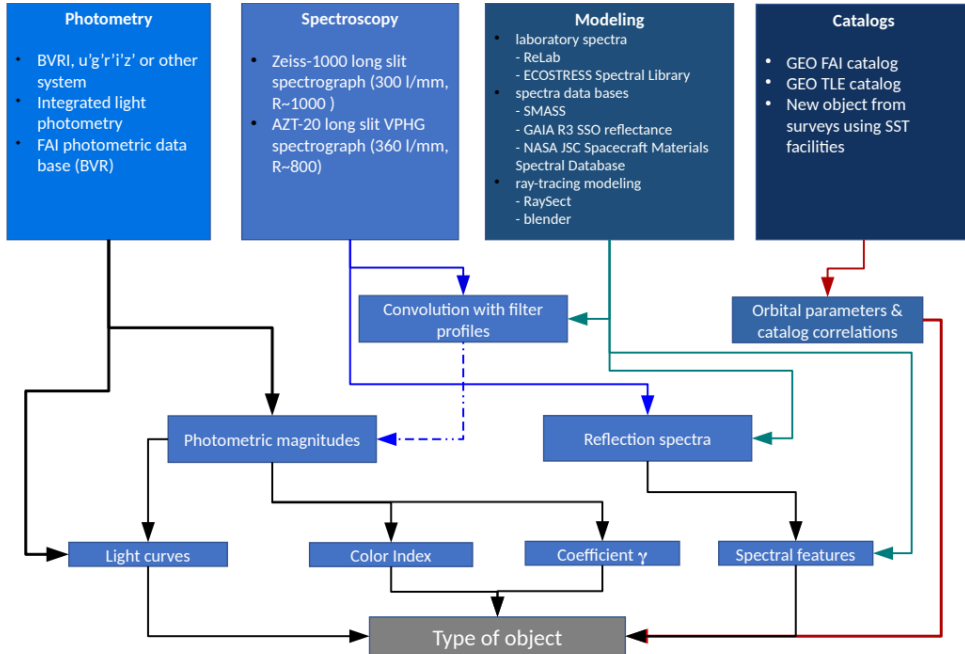


Figure 1. RSO identification scheme in developing SSA

Materials and Method. The monochromatic intensity of the RSO may be written as:

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^{Sun} \frac{\gamma S F_{\lambda}(\phi)}{d^2} p_{\lambda}^{M(z)} \quad (1),$$

where p_{λ} and $M(z)$ is the transparency of an atmosphere and its air mass, respectively; E_{λ}^{Sun} - object's monochromatic illumination by the Sun; d - topocentric distance to the object; γ_{λ} - geometrical albedo of the object; S - an area of the visible part of sunlit object's surface; $F_{\lambda}(\phi)$ - phase function. The parameters γ_{λ} , S , and $F_{\lambda}(\phi)$ depend on the geometry of the object, its coating properties, and the orientation of the object in space.

Usually, when we process observation of the satellite, instead of using known function E_{λ}^{Sun} and compensating for $p_{\lambda}^{M(z)}$ we simply use the luminosity of the reference star of solar spectral type. Then we may write:

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^{star} \frac{\gamma S F_{\lambda}(\phi)}{d^2} \quad (2)$$

The reflective spectra, $R_{\lambda}(\phi)$, is simply:

$$R_{\lambda}(\phi) \equiv \frac{E_{\lambda}}{E_{\lambda}^{star}} = \frac{\gamma_{\lambda} S F_{\lambda}(\phi)}{d^2} \quad (3)$$

During spectral observation, all fluxes are observed for the same phase angle ϕ , the same surface S and the same distance d . We might know the value of d , but the value of S for most RSO is rarely known.

Also, we may assume that $F_\lambda(\varphi)$ does not depend on λ , as, for example, for the plate or the Lambert sphere when this function depends only on the phase angle. With these assumptions the relative reflectivity, $R_{\Delta\lambda}(\phi)$ is

$$R_{\Delta\lambda} \equiv \frac{R_{\lambda_1}(\phi)}{R_{\lambda_2}(\phi)} = \frac{\gamma_{\lambda_1}}{\gamma_{\lambda_2}} \quad (4),$$

where i and j are different wavelength regions (spectral bands or photometric filters).

Reflective spectra for different phase angles may show a strong variation in shape as the relative reflective spectra do. This shape, in the first approximation using the assumptions mentioned above, will depend on the parameters of coating materials, including the effect of space weathering (Reyes, et al., 2021; Schildknecht, et al., 2009). To characterize this dependence, we may use the variation of slope of the relative spectra using relation $R_{\Delta\lambda_i}$ vs $R_{\Delta\lambda_j}$ for different spectral bands i and j .

Considering the wavelength range from 400 to 800 nm for slit spectra with grating 360 lines per mm obtained on AZT-20 we choose four different "filters" with equal bandwidth of 80 nm starting at 400 nm. This allows us to reduce the dimension of the task to up to 2 parameters for each spectrum obtained in a particular moment (phase angle). We then analyze $R_{\Delta\lambda_i}$ vs $R_{\Delta\lambda_j}$ for different phase angles of a particular object as well as for different objects obtained at the same phase angle.

Yet, there is another interpretation for the relative reflectivity $R_{\Delta\lambda}$, using the definition of stellar magnitude and colour index. The stellar magnitude of a satellite is

$$m_\lambda = m_\lambda^{\text{Sun}} - 2.5 \log \left[\frac{\gamma_\lambda S F_\lambda(\phi)}{d^2} \right] \quad (5),$$

where, γ_λ is an effective reflective surface. This coefficient depends on the difference between the topocentric (φ_t) and geocentric (φ_g) phase angles $\gamma_\lambda S = \gamma_\lambda S_{\text{obs}} \cos(\phi_t - \phi_g)$, where S_{obs} - observable area of the satellite.

Then we may rewrite (5) as:

$$(m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}) - (m_{\lambda_1}^{\text{Sun}} - m_{\lambda_2}^{\text{Sun}}) = -2.5 \log \left[\frac{\gamma_{\lambda_1}}{\gamma_{\lambda_2}} \right] \equiv -2.5 \log [R_{\Delta\lambda}], \quad (6)$$

where C.I. = $m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}$ and hence

$$R_{\Delta\lambda} = 10^{0.4(\text{C.I.}^{\text{Sun}} - \text{C.I.})} \quad (7)$$

We interpret it $R_{\Delta\lambda}$ as a variation of the colour change of the reflected light compared to incident light in the "blue" and "red" regions of the satellite spectra.

To successfully apply the described method, it is necessary to obtain information about the brightness of the object simultaneously in all spectral bands. This task is not trivial for GEO from the observer's point of view. To do this, it is necessary to simultaneously satisfy the following requirements for the instrumentation: high permeability and minimal losses in optics for the possibility of monitoring objects with low bright-

ness, the necessity to promptly obtain spectrophotometric characteristics for objects in rapidly changing illumination conditions (phase angle variation, RSO rotation). To fulfil these requirements, we use the most powerful telescope in Kazakhstan - AZT-20 with an aperture of 1.5 meters equipped with a high-efficiency spectrograph and EMCCD detector with the possibility to get spectra in high-speed readout mode.

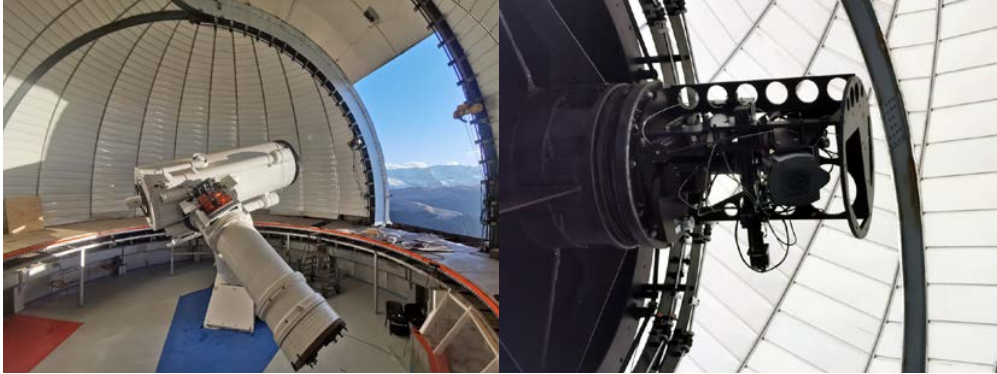


Figure 2. A general view of the AZT-20 (left) and the VPHG spectrograph mounted in the primary focus of AZT-20, with an open casing for visibility of the internal components of the device (right).

The initial optical layout of AZT-20 was changed to operate in primary focus. For this, the optical 4-lenses field corrector with the function of focal length reduction was designed and installed at the prime focus of the telescope (see Figure 2 on the left). The resulting parameters of AZT-20 are: $D_{primary} = 1560$ mm, $f = 1:3.7$, $D_{secondary} = 280$ mm. For the detector, we use EMCCD iXon 888 1024×1024 pixels with the ability to suppress effective readout noise in the high-speed spectrum acquisition mode. The spectrograph is manufactured using volume phase holographic gratings with 360 lines per mm ($R = 600$) with a dispersion of 4.25\AA per pixel (see Figure 2 on the right). This configuration allows us to obtain spectra of GEO with exposure time of about 2 seconds for sufficient signal-to-noise ratio.

Spectra were processed using the standard IRAF package (onedspec subpackage). Atmospheric extinction was corrected using mean extinction coefficients for the Asy-Turgen observatory. The reflective spectra are derived from the extinction-corrected spectra divided by the spectra of the solar-analogue stars. This procedure also removes the systematic instrumental noise. We then use the Butterworth filter to remove high-frequency noise in reflective spectra since we are interested in the general distribution of reflection and not in some high-resolution features like, for instance, spectral lines.

Result and Discussion. As was mentioned above the parameter $R_{\Delta\lambda}$ allows us to compensate for the lack of knowledge about the geometry of the object and the properties of its surface. It also gives more flexibility in choosing spectral bands - "filters".

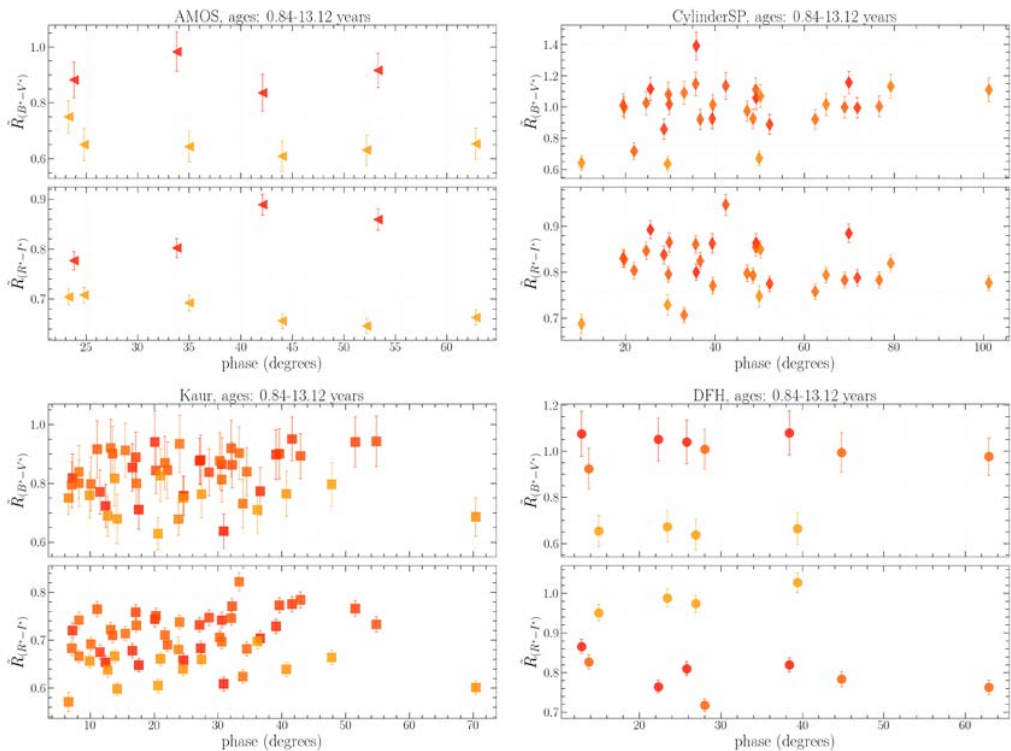
Since the spectral range of our spectrograph with sufficient signal-to-noise ratio lies in the range from $\lambda 3800\text{\AA}$ to roughly $\lambda 3800\text{\AA}$ we cannot use the conventional photometric

system as, for example, BVRI or u'g'r'i'z'. Instead, in our analysis we use four color bands designated as β ($\lambda < 4800\text{\AA}$), V ($4800\text{\AA} < \lambda < 5600\text{\AA}$), R ($5600\text{\AA} < \lambda < 6400\text{\AA}$) and I ($\lambda > 6400\text{\AA}$). As for the shape of transparency for each band, we use a simple step function.

The dependence of $\tilde{R}_{\Delta\lambda}$ on phase and angle on the satellite's age indicated by the colour gradient for different platforms (provided in the title for each panel) is shown in Figure 3. We did not find a dependence of the parameter on the phase angle, but the dependence of this parameter on the age of the RSO is noticeable.

The dependence of $\tilde{R}_{\Delta\lambda}$, averaged over all phases, on different platforms with a colour indication of the satellite's age is shown in Figure 4. There is a noticeable sign of clustering of the parameters for different platforms.

The dependence of $\tilde{R}_{\Delta\lambda}$, averaged over all phases, on different RSO's countries of origin with a colour indication of the satellite's age is shown in Figure 5. This result should be considered rather arbitrary, since the statistics of spectral observations of all RSO for different "countries" is not complete and, in addition, as can be seen from Figure 4, it can be greatly distorted by the dependence on the specific platform (in the case where different platforms belong to different manufacturers, i.e. companies and/or countries).



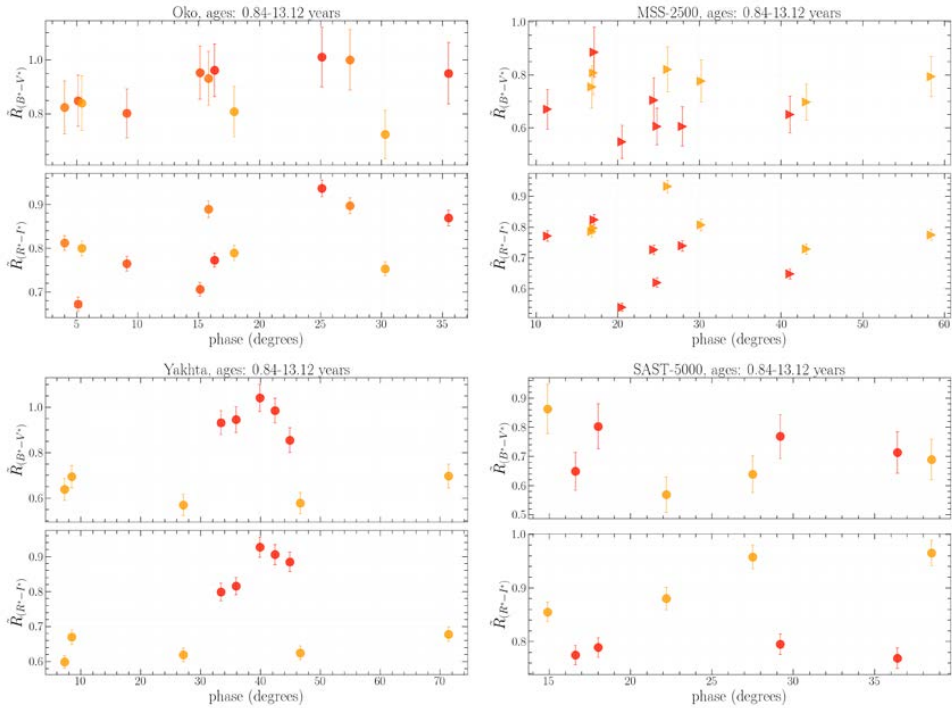


Figure 3. The dependence of parameter $\tilde{R}_{\Delta\lambda}$ on phase angle and age (indicated by color gradient) for different platforms (shown in different color and symbols).

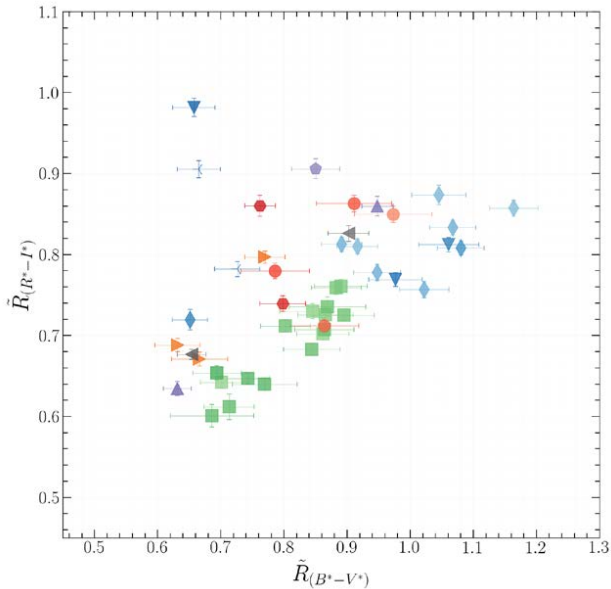


Figure 4. The dependence of parameter $\tilde{R}_{\Delta\lambda}$ on age (indicated by color gradient) and platform (shown in different color symbols).

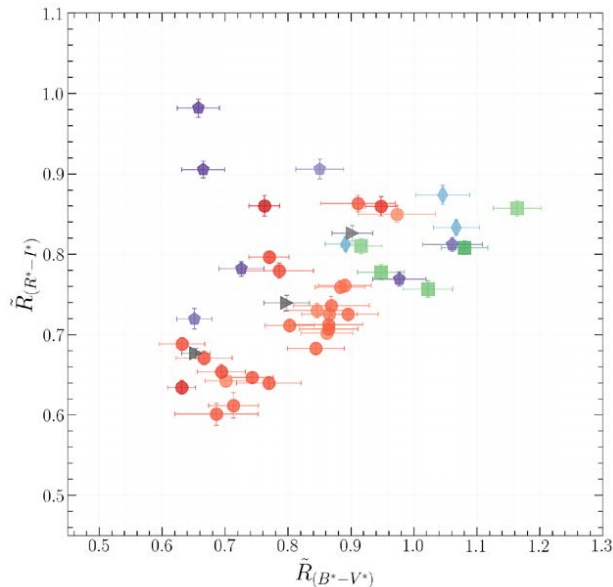


Figure 5. The dependence of parameter $R_{\Delta\lambda}$ on age (indicated by color gradient) and country of origin (shown in different color symbols).

Conclusion. We carried out spectral observations of GEO satellites on a new spectrograph at the Assy-Turgen Observatory, mounted on an AZT-20 telescope with an aperture of 1.5 meters. The corresponding GEO reflective spectra were obtained to develop a methodology for RSO identification in near-Earth space by their spectral features. For these purposes, it is proposed to use a parameter that does not depend on the usually unknown characteristics of the satellites such as shape, size and orientation.

Analysis of how this parameter depends on phase angle for some bus platforms like AMOS, Yakhta and DFH, shows the space weathering effect, whilst for other platforms it is less noticeable. We see this dependence for several platforms but in general, the result is inconclusive since the variation of the parameters with age becomes large which is probably caused by the instability of the satellite when it is out of service or malfunctioning, as, for example, its rotation. This demands additional investigation.

We show that using the dependence of parameters on the satellite bus (or country of origin) and its age it is possible to roughly identify the GEO's platform. It is mandatory to get more observational spectral data to further investigate the relation of reflective spectra parameters for different shapes and material compositions. Accumulation of observational data together with modelling and machine learning methodology application efforts (Gazak, et al., 2022; Yee, et al., 2023) will help to improve the GEO and other satellite identification methodologies. The modelling is a significant tool to further improve the methodology and analyses the time-dependent features (Velez-Reyes et al., 2023). For spectral modeling-related results see (Lersch, et al., 2023) and in particular how the spectra might depend on phase angle.

One possibility we are currently working on is modelling using an open-source RaySect (Meakins, et al., 2023). For example, we use a glass-covered Gallium arsenide phosphate mixture to model solar cells and different mixtures of materials (for instance, Aluminum as suggested in (Gazak, et al., 2022) for bus modelling. The resulting reflective spectra for various mixtures of materials (see Table 1) as functions of phase angle are shown in Figure 6. One can see that reflective spectra indeed show different overall shapes for different platform compositions. We hope that various efforts, such as building a spectral library (Pearson, et al., 2023), modelling, spectral observation in a wider spectral range, and applying machine learning algorithms will significantly improve the RSO identification methodology.

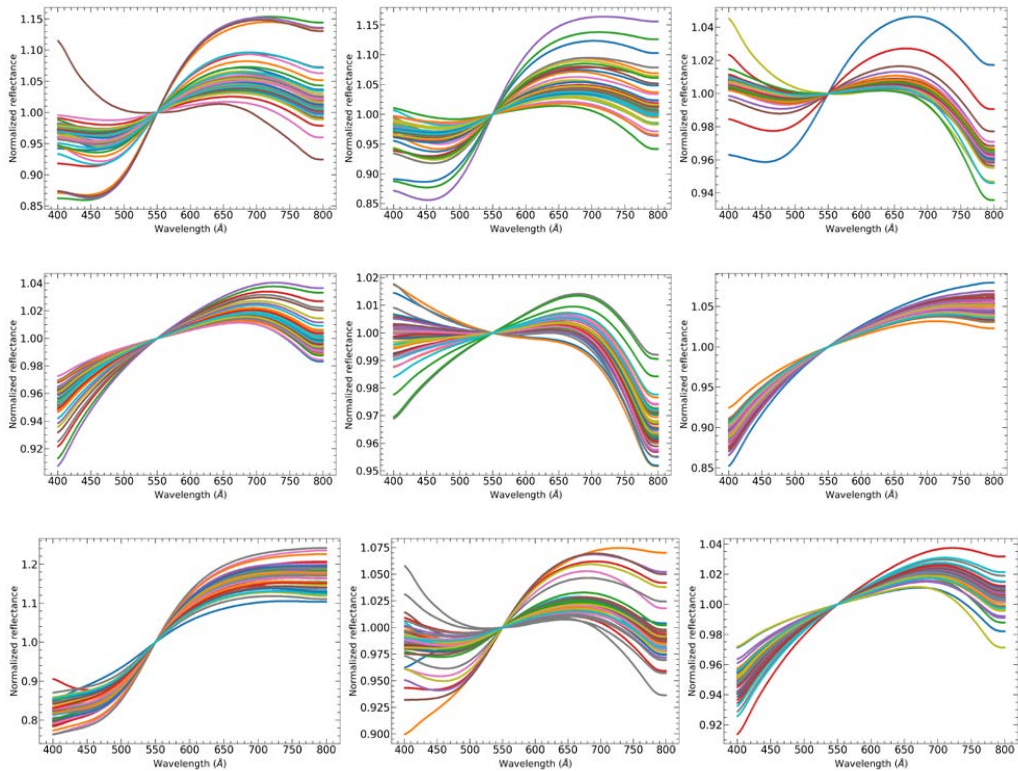


Figure 6. RaySect modeled reflective spectra for different camera rotation angles (phase angle) and different materials (see Table 1).

Table 1. Composition of materials used in modeling with RaySect

Model	material, %	material, %	material, %	Solar panel model
Model-1	MyLar□, 16%	Kapton□, 64%	Cu0.1, 20%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-2	MyLar□, 64%	Kapton□, 16%	Cu0.1, 20%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%

Model-3	MyLar□, 54%	Al0.3, 36%	Cu0.1, 10%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-4	Ni0.3, 25%	Al0.3, 25%	MyLar□, 50%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-5	Ni0.3, 6%	Al0.3, 24%	MyLar□, 70%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-6	Ni0.3, 64%	Al0.3, 16%	MyLar□, 20%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-7	Ni0.3, 21%	Kapton□, 49%	Cu0.3, 30%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-8	Ni0.1, 9%	MyLar□, 81%	Cu0.1, 10%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%
Model-9	Ti, 20%	Al0.3, 30%	Al0.01, 50%	Front: InGaP + Schott “N-BK7” Back: Kapton□ 50% + Cu0.02, 50%

References

- Vananti A., Schidknecht T., Krag H., Erd C. (2009). Preliminary Results from Reflectance Spectroscopy Observations of Space Debris in GEO. Fifth European Conference on Space Debris, Vol. 672., p.41.
- Cowardin H., Seitzer P., Abercromby K., Barker E., Schildknecht T. (2010). Characterization of Orbital Debris Photometric Properties Derived from Laboratory-Based Measurements. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, p.E47.
- Hejduk M., Cowardin H., Stansbery E. (2012). Satellite Material Type and Phase Function Determination in Support of Orbital Debris Size Estimation. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, p.14.
- Vananti A., Schildknecht T., Krag H. (2017). Reflectance spectroscopy characterization of space debris. Advances in Space Research, Vol. 59, p.2488-2500.
- Sukhov P., Kouprianov V., Sukhov K. (2017). Photometrical Database of GSS and methods of identification satellites on their photometrical characteristics. 7th European Conference on Space Debris, p.64.
- Šilha J., Zigo M., Hrobár T., Jevčák P., Verešvárska M. (2021). Light curves application to space debris characterization and classification. 8th European Conference on Space Debris, p.116.
- Zigo M., Žilková D., Šilha J., Tóth J., Matlovič P. (2021). Combined effort of reflectance spectroscopy and BVRI photometry in the field of space debris characterization. 8th European Conference on Space Debris, p.140.
- Reyes J. A., Fulford K. W., Plis E. A., Hoffmann R. C., Murray V. J., Cowardin H. M., Cone D., Ferguson D. C., Bengtson M. T., Shah J. R., Engelhart D. P. (2021). Spectroscopic behavior of various materials in a GEO simulated environment. Acta Astronautica, Vol. 189, pp.576-583.
- Castro P., Wetterer C. J., Strong D., Schuetz-Christy C., Chun F. (2023). Analysis of Age-Related Color Change of GEO Satellites via Spectroscopy. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance (AMOS) Technologies Conference, p.85.
- Bédard D., Wade G. A. (2017). Time-resolved visible/near-infrared spectrometric observations of the Galaxy 11 geostationary satellite. Advances in Space Research, Vol. 59, pp.212-229.
- Schildknecht T., Musci R., Flohrer T. (2008). Properties of the high area-to-mass ratio space debris population at high altitudes. Advances in Space Research, Vol. 41, pp.1039-1045.
- Cardona T., Seitzer P., Rossi A., Piergentili F., Santoni F. (2016). BVRI photometric observations and light-curve analysis of GEO objects. Advances in Space Research, Vol. 58, pp.514-527
- Zhao X.-F., Zhang H.-Y., Yu Y., Mao Y.-D. (2016). Multicolor photometry of geosynchronous satellites and application on feature recognition. Advances in Space Research, Vol. 58, pp.2269-2279.
- Jorgensen K., Africano J., Hamada K., Stansbery E., Sydney P., Kervin P. (2004). Physical properties of orbital debris from spectroscopic observations. Advances in Space Research, Vol. 34, pp.1021-1025

Seitzer P., Abercromby K. J., Barker E. S., Cardona T., Lederer S. M., Cowardin H. (2012). Visible Light Spectroscopy of GEO Debris. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, p.9

Meakins D. A., Carr M., Sorchard1, Lovell J., Neverov V., Munechika k., Tomes M., Von Essen M. (2023). raysect/source: v0.8.1 Release. Zenodo

Schildknecht T., Vannanti A., Krag H., Erd C. (2009). Reflectance Spectra of Space Debris in GEO. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, p.E24.

Lersch R., Campbell T., Battle A., Pearson N., Reddy V. (2023). Linear Spectral Mixing for Spacecraft Characterization. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance (AMOS) Technologies Conference, p.131.

Gazak J. Z., McQuaid I., Swindle R., Phelps M., Fletcher J. (2022). SpectraNet: Learned Recognition of Artificial Satellites from High Contrast Spectroscopic Imagery. arXiv e-prints, arXiv:2201.03614.

Yee X., Dao P., Strong D., Wetterer C., Roth B., Chun F. (2023). Machine Learning Classification GEOs Using Spectral Data. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance (AMOS) Technologies Conference, p.209.

Velez-Reyes M., Najera A., Porras L., DeBlasio D., Erives H. (2023). Understanding Spectro-Temporal Signature Variability of Unresolved Resident Space Objects using a Simulation Model. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance (AMOS) Technologies Conference, p.193.

Pearson N., Sharkey B., Campbell T., Battle A., Jacobson C., Reddy V., Furfaro R. (2023). Building a Laboratory Spectral Library of Spacecraft Materials in Vacuum at Variable Phase Angle. Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance (AMOS) Technologies Conference, p.153.

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

Volume 4. Number 352 (2024), 82–89

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.309>

UDC 546.5

UDC 548.5

© A.K. Shongalova*, A. Sailaubek, A.E. Kemelbekova, 2024.

Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shongalova.aigul@gmail.com

OBTAINING BULK CRYSTALS OF ANTIMONY OXYCHLORIDE AND STUDYING ITS STRUCTURAL CHARACTERISTICS

Shongalova A.K. – PhD, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan, E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>;

Sailaubek A. - master student, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan, E-mail: aididarsailaubekqzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

Kemelbekova A.E. – PhD, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan, E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Abstract. Antimony oxychloride ($\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$) is a promising material with unique properties, making it applicable in various fields of science and technology. It is widely used in photocatalysis, energy storage in potassium-ion batteries, and as a fire-resistant additive to various materials. These characteristics make this material an essential component for the development of new technologies. This article highlights the importance of synthesis control during the production of antimony oxychloride crystals, as it enables the enhancement of their functional properties.

The article describes the process of obtaining bulk $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ crystals through hydrothermal synthesis using antimony chloride, glycerin, and hydrazine hydrate. This method is aimed at identifying optimal conditions for producing high-quality crystals. During the research, the structural and morphological characteristics of the obtained material were analyzed using modern methods: X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, and scanning electron microscopy (SEM). These methods allowed a comprehensive investigation of the material's structural features and surface morphology.

The study results revealed that $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ crystals crystallize in a monoclinic phase with the $P2(1)/C$ space group. This structure defines the material's layered organization and dense grain packing, contributing to its unique properties. Furthermore, Raman spectroscopy confirmed the presence of stretching vibrations of Sb–Cl and Sb–O bonds characteristic of the $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ structure, verifying the material's chemical composition. The presented study fully uncovers the possibilities and advantages of $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ synthesis for expanding its application potential.

Keywords: antimony oxychloride, photocatalysis, monoclinic phase, hydrothermal synthesis, Raman spectroscopy.

© А.Қ. Шонғалова*, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова, 2024.

Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail: shongalova.aigul@gmail.com

СУРЬМА ОКСИХЛОРИДІНІҢ КӨЛЕМДІ КРИСТАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Шонғалова А.Қ. – PhD, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, ;<https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>;

Сайлаубек А. – магистрант, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: aididarsailaubekqyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

Кемелбекова А.Е. – PhD, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация. Сурьма оксихлориді ($Sb_4O_5Cl_2$) – ерекше қасиеттері арқасында ғылым мен технологияның әртүрлі салаларында қолданылу мүмкіндігі жоғары перспективалы материал. Оның фотокатализде, калий-ионды аккумуляторларда энергияны тиімді сақтауда, сондай-ақ әртүрлі материалдарға отқа төзімді қоспа ретінде кеңінен қолданылатыны белгілі. Мұндай қасиеттері бұл материалды жаңа технологияларды дамытудағы маңызды құрамдас бөлігіне айналдырады. Ұсынылған мақала сурьма оксихлоридінің кристалдарын алу процесіндегі синтезді бақылаудың маңыздылығын ерекше атап көрсетеді, өйткені бұл оның функционалдық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді.

Мақалада сурьма хлориді, глицерин және гидразингидрат қатысуымен гидротермиялық синтез арқылы $Sb_4O_5Cl_2$ көлемді кристалдарын алу процесі егжей-тегжейлі сипатталған. Бұл әдіс жоғары сапалы кристалдарды алу үшін оңтайлы жағдайларды анықтауға бағытталған. Зерттеу барысында алынған материалдың құрылымдық және морфологиялық сипаттамалары әртүрлі заманауи әдістер көмегімен зерттелді: рентгендік фазалық талдау (XRD), Раман спектроскопиясы және сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM). Бұл әдістер материалдың құрылымдық ерекшеліктері мен оның беткі морфологиясын толықтай зерттеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері $Sb_4O_5Cl_2$ кристалдарының моноклиндік фазада P2(1)/C кеңістіктік тобымен кристалданатынын анықтады. Бұл құрылым материалдың қабаттық құрылымына және оның дәндерінің тығыз орналасуына байланысты ерекше қасиеттерін айқындады. Сонымен қатар, Раман спектроскопиясы $Sb_4O_5Cl_2$ құрылымына тән Sb–Cl және Sb–O байланыстарының созылу тербелістерінің болуын растады, бұл алынған материалдың химиялық құрылымын дәлелдейді. Ұсынылған зерттеу $Sb_4O_5Cl_2$ материалын қолдану перспективаларын арттыру үшін оны синтездеудің мүмкіндіктері мен артықшылықтарын толық ашып көрсетеді.

Түйін сөздер: сурьма оксихлориді, фотокатализ, моноклиндік фаза, гидротермиялық синтез, комбинациялық шашырау спектроскопиясы.

© А.К. Шонгалова*, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова, 2024.

Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан.

E-mail: shongalova.aigul@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ОКСИХЛОРИДА СУРЬМЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

А.К. Шонгалова – PhD, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>;

А. Сайлаубек – студент магистратуры, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: aididarsailaubekqyzy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6461-5787>;

А.Е. Кемелбекова – PhD, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация. Оксихлорид сурьмы ($Sb_4O_5Cl_2$) — это перспективный материал, обладающий уникальными свойствами, что делает его применимым в различных областях науки и техники. Он широко используется в фотокатализе, хранении энергии в калий-ионных аккумуляторах, а также в качестве огнестойкой добавки к различным материалам. Такие свойства делают этот материал важным компонентом для развития новых технологий. Настоящая статья подчеркивает важность контроля синтеза в процессе получения кристаллов сурьма оксихлорида, так как это позволяет улучшить их функциональные характеристики.

В статье описан процесс получения объемных кристаллов $Sb_4O_5Cl_2$ методом гидротермального синтеза с использованием сурьмы хлорида, глицерина и гидразингидрата. Этот метод направлен на определение оптимальных условий для получения высококачественных кристаллов. В ходе исследования структурные и морфологические характеристики полученного материала изучались с использованием современных методов: рентгенофазового анализа (XRD), рамановской спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (SEM). Эти методы позволили полностью исследовать структурные особенности материала и его поверхностную морфологию.

Результаты исследования показали, что кристаллы $Sb_4O_5Cl_2$ кристаллизуются в моноклинной фазе с пространственной группой $P2(1)/C$. Эта структура обуславливает слоистое строение материала и плотное расположение зерен, что определяет его уникальные свойства. Кроме того, рамановская спектроскопия подтвердила наличие колебаний растяжения связей $Sb-Cl$ и $Sb-O$, характерных для структуры $Sb_4O_5Cl_2$, что подтвердило химический состав материала. Представленное исследование полностью раскрывает возможности и преимущества синтеза $Sb_4O_5Cl_2$ для расширения перспектив его применения.

Ключевые слова: оксихлорид сурьмы, фотокатализ, моноклинная фаза, гидротермальный синтез, спектроскопия комбинационного рассеяния.

Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант

NO AP 19178659 «Исследование динамики решетки селенида сурьмы методом колебательной спектроскопии»).

Введение

В современном мире развитие новых материалов играет ключевую роль в решении глобальных задач, таких как устойчивое энергетическое развитие и охрана окружающей среды. Создание материалов с уникальными свойствами, такими как высокая фотокаталитическая активность или энергоёмкость, открывает возможности для инновационных технологий в областях энергохранения и экологической безопасности. Таким новым материалом является оксихлорида сурьмы $Sb_4O_5Cl_2$.

Оксихлорид сурьмы $Sb_4O_5Cl_2$ является полупроводниковым материалом с прямой запрещенной зоной 3,12-3,38 эВ (Särnstrand, 1978). Материал кристаллизуется в моноклинной фазе с пространственной группой $P2(1)/C$ при обычных условиях (Makhloufi, 2022). Структура оксихлорида сурьмы состоит из слоев, содержащих оксидные единицы сурьмы, в которых ионы хлора занимают свободный объем между соседними слоями ($Sb_4O_5^{2+}$)_n. Кристаллическая структура имеет важное значение для понимания свойств материала и его поведения в различных приложениях. Одно из наиболее известных применений $Sb_4O_5Cl_2$ — фотокатализ. Было показано, что соединение эффективно разлагает органические загрязнители, такие как красители, под воздействием видимого света (Yang L., 2016). Фотокаталитическая эффективность $Sb_4O_5Cl_2$ была улучшена за счет создания композитов с другими материалами (Das S., 2024). Кроме того, было исследование как потенциальный анодный материал для калий-ионных и хлорид-ионных аккумуляторов (Hu, 2019; Shen, 2024) Смешивание $Sb_4O_5Cl_2$ с MXene (Ti_3C_2) значительно улучшило его электрохимические характеристики, продемонстрировав его пригодность для хранения энергии (Shi, 2022) Еще одно важное применение $Sb_4O_5Cl_2$ — в сенсорных технологиях. Хлопкоподобные трехмерные структуры $Sb_4O_5Cl_2$ продемонстрировали потенциал для обнаружения гидроксида аммония (Toledo, 2023). Соединение было исследовано на предмет его способности удалять загрязняющие вещества из сточных вод. Был разработан композит $Sb_4O_5Cl_2@NbSe_2$, который эффективно адсорбировал ионы хрома (Cr(VI)) и железа (Fe(III)), а также краситель метилоранж из водных растворов. Оптические характеристики позволяет его применение в нелинейной оптике в больших масштабах (Lv, 2020). Термическая стабильность и высокая температура плавления $Sb_4O_5Cl_2$ расширяют его потенциальные применения для огнестойкости. Это свойство в сочетании с его структурными характеристиками делает $Sb_4O_5Cl_2$ ценной добавкой для снижения воспламеняемости в текстиле, пластике и других материалах, где огнестойкость является критически важной проблемой (Pitts, 1970).

Исходя из обзора литературы на данный момент оксихлорид сурьмы был получен гидротермальным методом (Wang, 2000; Su, 2006), гидролизное осаждение (Palden, 2021), ультразвуковой синтез (Huang, 2020), и др. (Komal,

2019; Xu, 2014). Каждый из этих методов имеет определенные преимущества с точки зрения контроля свойств и морфологии материала.

В данной работе представлена новый рецепт гидротермального синтеза, что позволило получить объемные кристаллы оксихлорида сурьмы. Полученные кристаллы были исследованы методами рентгенофазного анализа, спектроскопией комбинационного рассеяния света и сканирующей электронной микроскопией.

Материалы и методы

Получение кристаллов

Композитный материал получали гидротермальным методом. Для приготовления раствора применены следующие реагенты: хлорид сурьмы SbCl_3 (Sigma-Aldrich, 99%), глицерин (ФАРМ, 98%), гидразингидрат (Скат, массовая доля гидразингидрата 65%). 0.152г порошка SbCl_3 засыпали в 15 мл глицерина. Затем смесь переносили в тефлоновый стакан (вкладыш автоклава). Для растворения смесь перемешивали на магнитной мешалке на протяжении часа, добавляя 2 мл гидразингидрата. Стакан перенесли в основной корпус автоклава, крышка плотно закрывается и помещается в микроволновый электрический нагреватель (BERGHOF, Германия). Раствор держали при температуре 150 °С в течение 12 часов. После окончания процесса осадок отфильтровывали с помощью фильтровальной бумаги. Осадок промывали разбавленной соляной кислотой в дистиллированной воде. Затем осадок промывали этиловым спиртом и высушивали при температуре 60 °С в вакуумной печи в течение 5 часов.

Характеристика структуры образцов

Данные рентгеновской порошковой дифракции были получены с использованием системы Дрон-6 (Россия) с монохроматическим $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2$ излучением ($10^\circ < 2\theta < 80^\circ$), работающим при 40 кВ.

Спектры комбинационного рассеяния были сняты при комнатной температуре с монохроматическим излучением 632,8 нм с помощью LabRaman HR 800 (Horiba, Япония). Элементный анализ и морфологию исследовали на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSPM-5200 (Япония).

Результаты и обсуждение

На рисунке 1а) представлен один из выращенных кристаллов. Образцы представляют из себя слоенную структуру и хорошо отслаиваются при механическом воздействии, что соответствует их кристаллической структуре. Морфология поверхности (рис. 1б) указывает на образование зернистой структуры с относительно гладкой поверхностью зерен. Зерна расположены достаточно плотно, что может свидетельствовать о высокой степени кристалличности материала. Из поперечного сечения образцов (рис. 1в) была рассчитана средняя арифметическая толщина равной приблизительно 200 мкм. Результаты элементного анализа показали: Sb – 38 ат.%, O – 45 ат.%, Cl – 17 ат.%

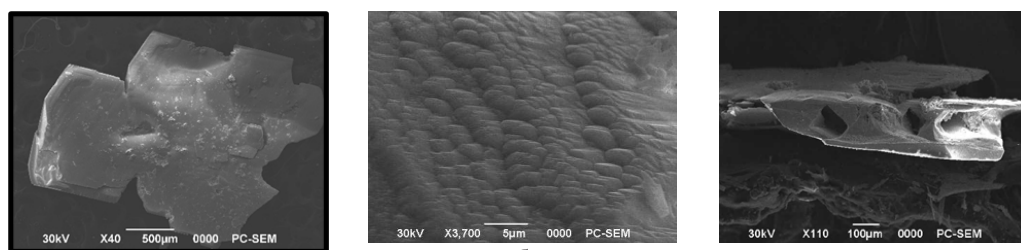


Рис 1. Изображение кристалла, полученные СЭМ: а) выращенный кристалл методом гидротермального осаждения, б) морфология поверхности при $\times 3\,700$ увеличении, в) поперечное сечение

Кристаллическая фаза образцов была подтверждена рентгеновской дифракцией и определено как моноклинная структура с пространственной группой $P2(1)/C$ (номер карты порошковой дифракции: 01-073-1534), с параметрами решетки $a = 6,229 \text{ \AA}$, $b = 5,103 \text{ \AA}$, $c = 13,530 \text{ \AA}$. Полученный результат аналогичен с другими работами (Toledo R. P., 2023). Средний размер кристаллитов составляет 29 нм. Размер кристаллитов было определено с использованием уравнения Шеррера $D = K\lambda / (\beta \cos\theta)$, где D – размер кристаллитов (нм), K – постоянная Шеррера ($K=0.9$), λ – длина волны рентгеновского излучения (0,154 нм), β – полуширина пика (радианы).

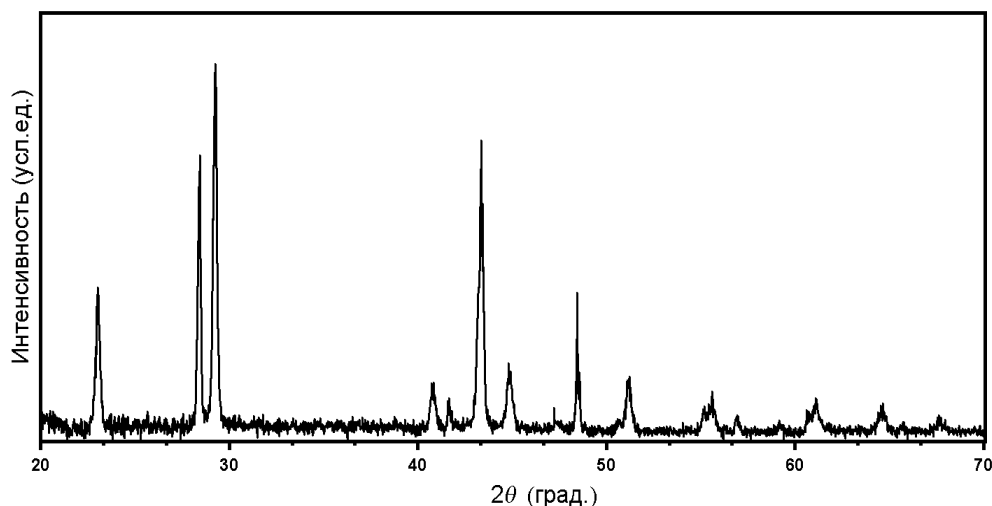


Рис 2. Рентгеновская дифрактограмма кристаллов $Sb_4O_5Cl_2$

Спектр комбинационного рассеяния образца показан на рисунке 2. Спектр демонстрирует острые пики приблизительно 114 , 141 и 174 см^{-1} , которые связывают с валентными колебаниями $Sb-Cl$ связей, в то время как пики между 211 и 273 см^{-1} связаны с колебаниями связей $Sb-O$ структур $Sb_4O_5Cl_2$ (Toledo

R. P., 2023). Также, полосы при $\sim 364, 387, 466 \text{ см}^{-1}$, приписывают колебаниям, вызванным деформацией связей Sb-O-Sb, рассматриваемых как симметричные или асимметричные комбинации валентных колебаний (Warzycha K., 2021) Полученные результаты согласуются с предыдущими работами (Shi Y., 2022, Warzycha K., 2021) и дополнительно подтверждают выводы рентгенофазной дифракции.

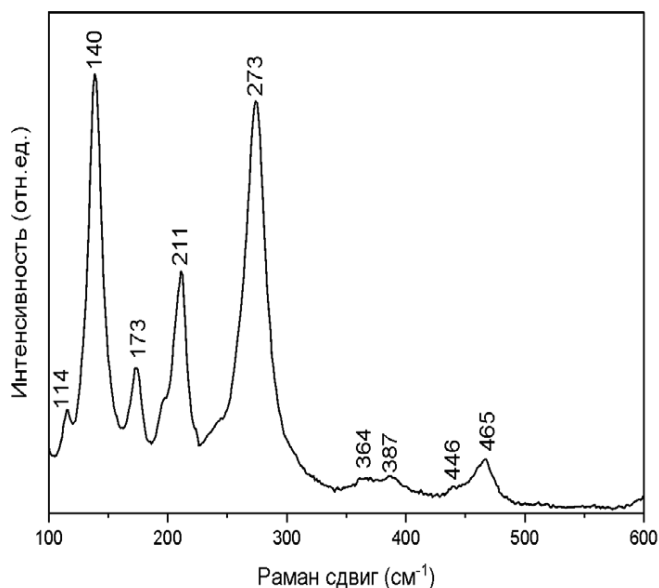


Рис 3. Спектр комбинационного рассеяния света кристалла

Заключение

Таким образом, объемные кристаллы оксихлорида сурьмы были получены гидротермальным методом. Образцы кристаллизовались в моноклинную решетку с пространственной группой $P2(1)/C$. Полученная фаза была подтверждена спектрами комбинационного рассеяния света. Однако, комбинации ножничных, вливающих и скручивающих деформационных колебаний появляются при более низких сдвигах комбинационного спектра. Точная корреляция мод комбинационного рассеяния света с пиками в спектрах может быть осуществлена путем теоретического расчета спектров на основе извлеченных кристаллических структур. Эти расчеты станут одной из целей будущих работ.

References

- Särnstrand C. The crystal structure of antimony (III) chloride oxide $Sb_4O_5Cl_2$ //Acta Crystallographica Section B: Structural Crystallography and Crystal Chemistry. – 1978. – Vol 34. – Iss. 8. – p. 2402-2407.
- Makhloufi R., Hachani S. E., Fettah A., Messai B. Wet Chemical Synthesis of $Sb_4O_5Cl_2$ Used as an Effective Photocatalyst for Methylene Blue and Crystal Violet Degradation under Visible Light Irradiation //Annales de Chimie-Science des Matériaux. – 2022. – Vol. 46. – Iss. 2. – p. 69-74.

Yang L., Huang J., Cao L., Shi L., Yu Q., Kong X., Jie Y. pH-regulated template-free assembly of Sb₄O₅Cl₂ hollow microsphere crystallites with self-narrowed bandgap and optimized photocatalytic performance //Scientific reports. – 2016. – Vol. 6. – Iss. 1. – p. 27765.

Das S., Paul S., Sen B., Rudra P., Mondal S., Ali S. I. Development of the Sb₄O₅Cl₂@ NbSe₂ Composite: The Impact of 2H-NbSe₂ Nanoparticles on Sb₄O₅Cl₂ and Their Application for the Removal of Cr (VI)/Fe (III) and Methyl Orange from Wastewater //Inorganic Chemistry. – 2024. – V. 63. – Iss. 5. – p. 2709-2724.

Hu X., Chen F., Wang S., Ru Q., Chu B., Wei C. Electrochemical performance of Sb₄O₅Cl₂ as a new anode material in aqueous chloride-ion battery //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2019. – Vol. 11. – Iss. 9. – p. 9144-9148.

Shen K., Lu X., Shen S., Xu P., Zeng Y., Li L., Wang H. Effect of Cobalt on Lifetime of Sb₄O₅Cl₂-Graphene Anode in Chloride-Ion Batteries //ChemSusChem. – 2024. – Vol. 17. – Iss. 8. – p. e202301392.

Shi Y., Zhou D., Wu T., Xiao Z. Deciphering the Sb₄O₅Cl₂-MXene hybrid as a potential anode material for advanced potassium-ion batteries //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2022. – Vol. 14. – Iss. 26. – p. 29905-29915.

Toledo R. P., Gonçalves R. A., Baldan M. R., Berengue O. M. Cotton-Like Three-Dimensional Sb₄O₅Cl₂ Structures: Synthesis and Ammonium Hydroxide Sensing //ACS omega. – 2023. – Vol. 8. – Iss. 44. – p. 41295-41301.

Lv S. Y., Chen Y. X., Li X. H., Luo W. F., Wang Y. M., Xu W. X. Sb₄O₅Cl₂ for 34th-order-harmonic mode locking //Optical Materials. – 2020. – Vol. 100. – p. 109635.

Pitts J. J., Scott P. H., Powell D. G. Thermal decomposition of antimony oxychloride and mode in flame retardancy //Journal of cellular plastics. – 1970. – Vol. 6. – Iss. 1. – p. 35-37.

Wang M. Y., Horrocks A. R., Horrocks S., Hall M. E., Pearson J. S., Clegg S. Flame retardant textile back-coatings. Part 1: Antimony-halogen system interactions and the effect of replacement by phosphorus-containing agents //Journal of fire sciences. – 2000. – Vol. 18. – Iss. 4. – p. 265-294.

Su X., Liu Y., Xiao C., Zhang G., Liu T., Qin J., Chen C. A facile, clean and quantitative synthesis of antimony chloride oxide single crystals //Materials Letters. – 2006. – Vol. 60. – Iss. 29-30. – p. 3879-3881.

Palden T., Machiels L., Regadio M., Binnemans K. Antimony recovery from lead-rich dross of lead smelter and conversion into antimony oxide chloride (Sb₄O₅Cl₂) //ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Iss 14. – p. 5074-5084.

Huang L., Zhang L., Bao D., Jiang X., Li J. Ultrasound-assisted synthesis of rGO/Sb₄O₅Cl₂/Sb₂S₃ for a high photo-catalytic rate //New Journal of Chemistry. – 2020. – Vol. 44. – Iss. 7. – p. 3103-3111.

Komal N. et al. Synthesis, characterization and properties of hierarchically assembled antimony oxyhalides nanonetworks //Materials research express. – 2019. – Vol. 6. – Iss. 6. – p. 065035.

Xu J. L. et al. Research on the preparation of antimony nanoparticles by mechanical ball milling //Key Engineering Materials. – 2014. – Vol. 609. – Iss. 244-249.

Warzycha K. Transition Metal Antimony (III) Oxidehalides. Synthesis, crystal structure and physical characteristics: Thesis. – 2011.

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

Volume 4. Number 352 (2024), 90–102

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.310>

УДК 524.3-13; 629.78.075.001.14

МРПТИ 41.23.29; 89.17.15

S.A. Shomshekova*, **L.K. Kondratyeva**, **I.M. Izmailova**, **C.T. Omarov**, 2024.

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail:shomshekova.saule@gmail.com

INFRARED OBSERVATIONS OF SYMBIOTIC STARS FROM A CISLUNAR ORBIT: OBJECTIVES AND PROSPECTS

Shomshekova S.A. - PhD, Lead Researcher. Fesenkov Astrophysical Institute, 050020, Almaty, Kazakhstan, E-mail: shomshekova.saule@gmail.com, shomshekova@fai.kz. <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>;

Kondratyeva L.N. - c.ph.-m.sc, Chief Researcher. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, email: kondratyeva@fai.kz. <https://orcid.org/0000-0002-6302-2851>;

Izmailova I.M. - JR. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan. e-mail: izmailova.ildana@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9878-0989>;

Omarov C.T. - Professor, PhD, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, e-mail: chingis.omarov@fai.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>.

Abstract. This article outlines observation tasks for studying symbiotic stars using a cislunar-orbit telescope with a 20–30 cm aperture. The aim is to define optimal observation objectives for such a telescope. Symbiotic stars are vital to modern astrophysics, serving as unique laboratories for studying binary system interactions at various evolutionary stages, with some acting as supernova precursors. Based on infrared (IR) radiation presence, symbiotic stars are classified into D-type (dusty) and S-type (stellar). Observations will focus on D-type stars, characterized by excess IR radiation, to explore pulsations, dust shell formation, and system evolution. Key objectives for IR studies include analyzing the physical properties of symbiotic stars during the pre-outburst and outburst phases and examining the structure and distribution of their dust components. Telescope specifications include a 20–30 cm aperture, 0.8–25 μm wavelength range, angular resolution of 0.8–1.2 arcseconds, spectral resolution of $R=1000\text{--}3000$, and sensitivity of $10^{-15}\text{--}10^{-13}$ W/m^2 . The optimal field of view is 0.5–1 arcminutes for spectroscopy and up to 10 arcminutes for photometry. Cooling to 50 K for near-IR and 10 K for mid-IR is required for detector sensitivity. These parameters will enable detailed studies of D-type symbiotic stars, offering valuable insights into their evolution and dynamic processes.

Keywords: symbiotic stars, infrared range, cislunar orbit, space telescope.

С.А. Шомшекова*, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров, 2024.

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

E-mail:shomshekova.saule@gmail.com

АЙҒА ЖАҚЫН ОРБИТАДАҒЫ СИМБИОТИКАЛЫҚ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ИНФРАҚЫЗЫЛ БАҚЫЛАУЛАРЫ: МІНДЕТТЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ

Шомшекова С.А - PhD, ЖФК, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail:shomshekova.saule@gmail.com, shomshekova@fai.kz/. <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>;

Кондратьева Л.Н. - ф.-м.ғ.к., БФК, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, kondratyeva@fai.kz. <https://orcid.org/0000-0002-6302-2851>;

Измайлова И.М. - КФК, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан. e-mail: izmailova.ildana@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9878-0989>;

Омаров Ч.Т. - профессор, PhD, В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, Алматы, Қазақстан.e-mail: chingis.omarov@fai.kz. <https://orcid.org/0000-0002-1672-894X>.

Аннотация. Бұл мақалада Айға жақын орбитада орналасатын телескопты қолдана отырып, симбиотикалық жұлдыздарды бақылауға арналған ғылыми міндеттер қарастырылады. Мақсат – Ай орбитасына орналастырылған апертурасы 20-30 см жабдықталған телескоптың көмегімен бақылаудың оңтайлы міндеттерін қою. Симбиотикалық жұлдыздарды зерттеу қазіргі астрономияға қатысты, өйткені олардың кейбіреулері аса жаңа жұлдыздардың ізашары бола алады, сонымен қатар эволюцияның әртүрлі кезеңдерінде қос жұлдыздардың өзара әрекеттесуін зерттеуге арналған бірегей зертхана болып табылады. ИҚ сәулеленуінің болуына немесе болмауына байланысты симбиотикалық жұлдыздар екі түрге бөлінеді: D типті (dusty) және S типті (stellar). Айға жақын орбитадағы телескоптың жұмысы үшін міндеттердің бірі ИҚ сәулеленуі артық болуымен ерекшеленетін D типті объектілер қарастырылады, бұл пульсация, шаң қабықтарының пайда болуы және осы жүйелердің эволюциясы сияқты процестерді егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. Айға жақын орбитасында ИҚ аймақта зерттеудің негізгі міндеттері қойылған: жарқыл алдындағы кезеңде және тікелей жарқыл кезінде симбиотикалық объектілердің физикалық сипаттамаларын зерттеу және осы жүйелердегі шаң-тозаң құраушыларының құрылымы мен таралуын талдау. Қойылған міндеттерді шешу үшін телескоптың параметрлері анықталды: апертурасы 20-30 см, толқын ұзындығының диапазоны 0.8-25 мкм, бұрыштық ажыратымдылығы 0.8-1.2 доға секунды, спектрлік ажыратымдылық $R=1000-3000$ және $10^{-15}-10^{-13}$ Вт/м²диапазонындағы сезімталдық. Спектроскопия үшін оңтайлы көру өрісі 0.5–1 доғалық минут, ал фотометрия үшін 10 доғалық минутқа дейін. Детекторлардың қажетті сезімталдығына қол жеткізу үшін жақын ИҚ диапазоны үшін 50 К дейін және орташа ИҚ диапазоны үшін 10 К дейін салқындату қажет. Бұл сипаттамалар симбиотикалық жұлдыздардың D типті егжей-тегжейлі зерттеулеріне мүмкіндік береді, олардың эволюциясы мен динамикалық процестері туралы құнды мәліметтер береді.

Түйін сөздер: симбиотикалық жұлдыздар, Инфрақызыл аймақ, айға жақын орбита, ғарыш телескобы

С.А. Шомшекова*, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров, 2024.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан.

E-mail: shomshekova.saule@gmail.com

ИНФРАКРАСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД С ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЫ: ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С.А. Шомшекова – PhD, ВНС, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, E-mail: shomshekova.saule@gmail.com, shomshekova@fai.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>;

Л.Н. Кондратьева – к.ф.м.н., ГНС, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, kondratyeva@fai.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6302-2851>;

И.М. Измайлова – МН, Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан, e-mail: izmailova.ildana@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9878-0989>;

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

Аннотация. В данной статье рассматривается постановка задач для проведения наблюдений симбиотических звезд с использованием окололунного телескопа. Целью является определение оптимальных задач для наблюдений с помощью телескопа, размещенного на окололунной орбите с апертурой 20–30 см. Исследования симбиотических звезд актуальны для современной астрофизики, поскольку они представляют собой уникальные лаборатории для изучения взаимодействия компонентов двойных систем на различных этапах эволюции, а некоторые из них могут служить предшественниками сверхновых. В зависимости от наличия или отсутствия ИК-излучения симбиотические звезды подразделяются на два типа: D-тип (dusty) и S-тип (stellar). Для работы окололунного телескопа рассматриваются объекты D-типа, отличающиеся избытком ИК-излучения, что позволяет детально изучить процессы, такие как пульсации, образование пылевых оболочек и эволюция этих систем. Предлагаются следующие задачи для ИК-исследований с окололунной орбиты: изучение физических характеристик симбиотических объектов в предвспышечный период и непосредственно во время вспышки, а также анализ структуры и распределения пылевой составляющей в этих системах. Для решения поставленных задач определены необходимые параметры телескопа: апертура 20-30 см, диапазон длин волн 0.8–25 мкм, угловое разрешение 0.8–1.2 секунды дуги, спектральное разрешение $R=1000-3000$ и чувствительность в диапазоне $10^{-15}-10^{-13}$ Вт/м². Оптимальное поле зрения для спектроскопии составляет 0.5–1 угловых минут, а для фотометрии – до 10 угловых минут. Охлаждение до 50 К для ближнего ИК-диапазона и до 10 К для среднего ИК-диапазона необходимо для достижения требуемой чувствительности детекторов. Эти характеристики позволят проводить детальные исследования D-типа симбиотических звезд и получать ценные данные об их эволюции и динамических процессах.

Ключевые слова: симбиотические звезды, ИК-диапазон, окололунная орбита, космический телескоп.

Информация о финансировании. Работа выполняется в рамках Программы № BR24992759 «Разработка концепции первого казахстанского орбитального окололунного телескопа - Этап I», финансируемого МНВО РК.

Введение

Исследование переменных звезд, особенно симбиотических звезд, является важной областью современной астрофизики. Симбиотические звезды представляют собой бинарные системы, состоящие из красного гиганта (красный гигант, желтый гигант, сверхгигант (пульсирующая переменная)) и горячей компоненты (белый карлик, нейтронная звезда или звезда Главной Последовательности) (Рисунок 1). Исследование симбиотических звезд является актуальной задачей в астрономии, так как некоторые из них считаются предшественниками сверхновых Ia (SN Ia) (Miszalski, 2013). Эти объекты предоставляют важную информацию о физических и динамических процессах взаимодействия компонентов в двойных звёздных системах на различных этапах их эволюции. В частности, изучение симбиотических звезд может помочь при исследовании механизмов, ведущих к выбросам вещества и, в конечном итоге, к взрывам сверхновых.

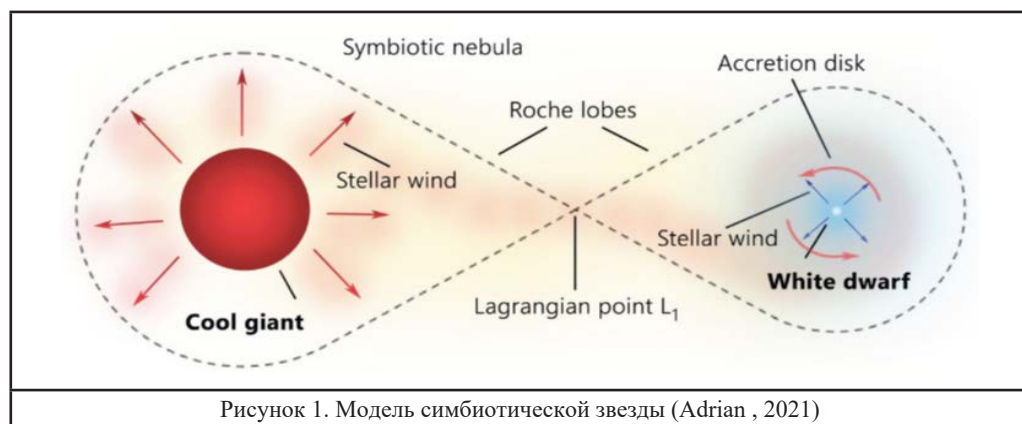


Рисунок 1. Модель симбиотической звезды (Adrian, 2021)

В начале 1930-х годов были открыты первые симбиотические звезды, такие как CI Cyg и AX Per, однако исследование этих объектов получило значительное развитие лишь спустя несколько десятилетий. Сейчас известно более 400 подтвержденных симбиотических звезд, включая как галактические, так и внегалактические объекты. В последние десятилетия вышло несколько каталогов симбиотических звезд: каталог Аллена (Allen, 1983), каталог Кениона (Kenyon, 1986) и каталог Бельчински и др. (Belczynski, 2000). Впервые модель двойной звездной системы для описания наблюдавшихся особенностей звезд с комбинационным спектром предложил Берман (Berman, 1932). Спектроскопические исследования выявили в

спектрах некоторых симбиотических звезд эмиссионные линии высокой степени ионизации NeV, OVI и FeVII, что указывает на высокую температуру центрального источника, порядка 130 000 К.

В зависимости от характера активности, симбиотические звезды делятся на несколько подгрупп:

1) Классические симбиотические звезды время от времени демонстрируют вспышки с амплитудой до 3 звездных величин.

2) Симбиотические новые: за весь период наблюдений фиксируется только одна вспышка, похожая на вспышку Новой, после которой звезда возвращается к исходной яркости в течение сотен лет.

3) Повторяющиеся (рекуррентные) симбиотические новые характеризуются несколькими мощными новоподобными вспышками.

4) Пекулярные симбиотические звезды проявляют аномальные характеристики, отличающие их от других типов.

5) Симбиотические звезды с неактивным горячим компонентом не демонстрируют вспышек и остаются стабильными по яркости.

В зависимости от наличия или отсутствия ИК-излучения, симбиотические звезды делятся на: D-тип (dusty) и S-тип (stellar).

D-тип (dusty) - звезды обладают пылевой оболочкой и излучением в ИК-диапазоне. Наблюдения таких звезд могут дать ценную информацию о пылевом окружении и его взаимодействии с полем излучения (Шенаврн, 2011; Bogdanov, 2017; Schild, 2001).

S-тип (stellar) - звезды не имеют явных признаков пылевой оболочки. Хотя они составляют большую часть известных симбиотических звезд (около 80%), их исследование может быть менее интересным по сравнению с D-типом (Belczynski, 2000).

Исследования в ближнем инфракрасном диапазоне показывают, что излучение в этой области спектра часто доминирует за счет холодных компонентов системы. Пульсационная активность таких звезд может вызывать циклические колебания потока, что было продемонстрировано в ряде исследований (Feast, 1997; Chen, 2019). Многие системы с компонентами типа Миры также обладают плотными пылевыми оболочками, что может влиять на наблюдаемые потоки излучения (Allen, 1983; Belczynski, 2000). В инфракрасной области пыль регистрируется как в ближнем, так и в далеком диапазонах. Для регулярного мониторинга, оптимальным может быть использование J или K-фильтров, так как они обеспечивают информацию об изменениях излучения как от холодных компонентов, так и от возможного излучения пыли (Chen, 2019; Ananth, 1993; Mikołajewska, 2001).

Таким образом, инфракрасные наблюдения симбиотических звезд предоставляют важную информацию о физических процессах в этих системах, включая пульсации, образование пылевых оболочек и эволюцию системы в целом.

Материалы и методы

Наблюдения на окололунных телескопах реально расширяют наши возможности поскольку, исключается влияние земной атмосферы, и появляется возможность

проводить непрерывные круглосуточные наблюдения переменных объектов. Одна из наиболее актуальных задач заключается в получении информации о состоянии симбиотической звезды накануне вспышки. Эта стадия до сих пор остаётся неизученной, поскольку вспышки, как правило, происходят внезапно. Тем не менее, такие данные необходимы для понимания причин и механизмов вспышечной активности.

Инфракрасная космическая обсерватория (ISO) был выведен на высокоэллиптическую орбиту в ноябре 1995 года с помощью ракеты-носителя Ariane 4. Задача ISO заключалась в исследовании космоса в инфракрасном диапазоне волн (от 2,5 до 240 мкм), позволяя астрономам наблюдать объекты, не видимые в оптическом диапазоне, и изучать состав и структуру космических тел и пылевых облаков (Kessler, 1996).

Космические наблюдения симбиотических звезд

Для изучения симбиотических звезд в инфракрасном диапазоне в настоящее время используются несколько космических телескопов, которые предоставляют данные о таких системах. Вот основные действующие космические телескопы (Таблица 1), которые работают в инфракрасной области спектра и могут быть использованы для исследования симбиотических звезд:

Таблица 1. Действующие космические телескопы для изучения симбиотических звезд в инфракрасном диапазоне

Космические телескопы	Запуск (год)	Организация	ИК-диапазон	Приборы	Назначения
Джеймса Уэбба (JWST ¹)	2021	NASA, ESA, CSA	0.6–28.3 мкм	NIRCam, MIRI, NIRSpec	Аккреционные процессы, изучать холодные компоненты системы, пылевые оболочки и тепловое излучение
SPHEREx ²	ожи- дается 2025	NASA	0.75–5 мкм		изучения всего неба в ближнем ИК диапазоне, спектроскопические данные
Хаббл (HST) ³	1990	NASA, ESA	0.8–2.5 мкм	NICMOS — инфракрасная камера и спектрограф	могут использоваться для изучения аккреционных процессов и пылевых оболочек симбиотических звезд
WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) ⁴	2009	NASA	3.4, 4.6, 12, и 22 мкм	NEOWISE -в среднем ИК диапазоне	для поиска малых тел в Солнечной системе, в том числе в среднем инфракрасном диапазоне (особенно в 12 и 22 мкм) полезны для исследования теплового излучения пылевых оболочек в симбиотических звездах

Результаты и обсуждения

Результатом данной работы является формулировка ключевых задач и выбор оптимального оборудования для фотометрических и спектральных наблюдений

симбиотических звезд в инфракрасном диапазоне с использованием телескопа с апертурой 20–30 см. Это позволит обеспечить эффективность и успешное выполнение научных исследований с окололунной орбиты первого космического телескопа, разрабатываемого консорциумом «Галам¹» и «АФИФ²».

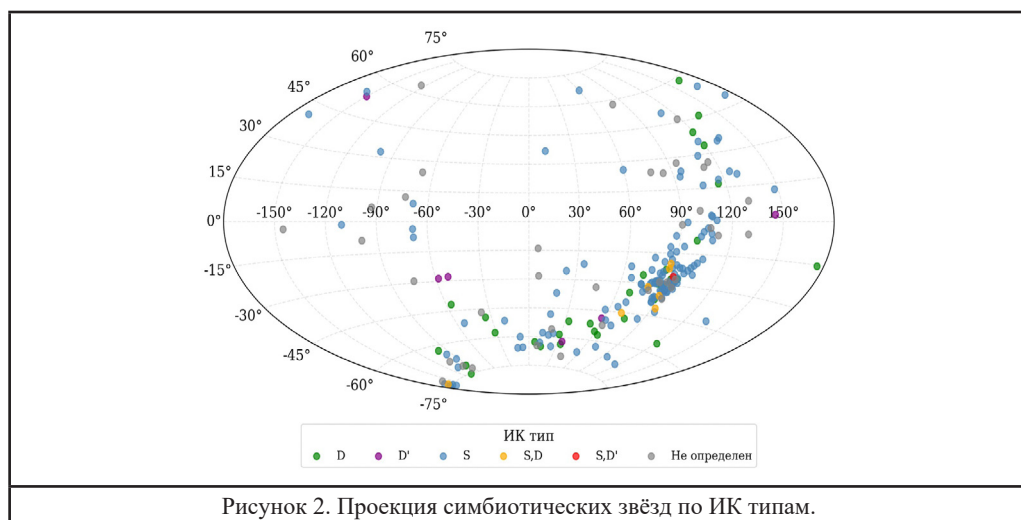
Планируемые задачи для наблюдений симбиотических объектов на окололунном телескопе:

1. Исследование физического состояния симбиотических объектов накануне вспышки и во время нее. Для своевременного выявления активных процессов:

- планируются патрульные (1 раз в 3–4 дня) фотометрические наблюдения в V V R фильтрах группы симбиотических звезд (яркость выбранных объектов будет определяться возможностями телескопа). Распределение симбиотических звезд в зависимости от их ИК типа согласно каталогу (Belczynski, 2000) отражено на Рисунке 2.

- При изменении блеска какого-либо объекта, потребуются круглосуточные фотометрические наблюдения с кратностью 20 наблюдений в сутки (кратность 20 наблюдений в сутки означает, что вы планируете осуществить 20 отдельных наблюдений за один цикл, который длится 24 часа (одно наблюдение примерно каждые 1,2 часа или каждые 72 минуты). При наличии спектрального канала будут нужны оптические спектры с разрешением не хуже 1 Å (разрешение в 1 Å означает, что спектрометр способен различать длины волн, отличающиеся друг от друга на единицу ангстрема). В этом случае необходима быстрая наземная обработка данных для установления причины наблюдаемых изменений.

Для выполнения первой задачи необходимо следующее оборудование: зеркало телескопа диаметром 20 - 30см, CCD камера для работы в оптическом диапазоне, набор фильтров V V R, спектрограф, работающий в диапазоне 3700 - 7500Å.

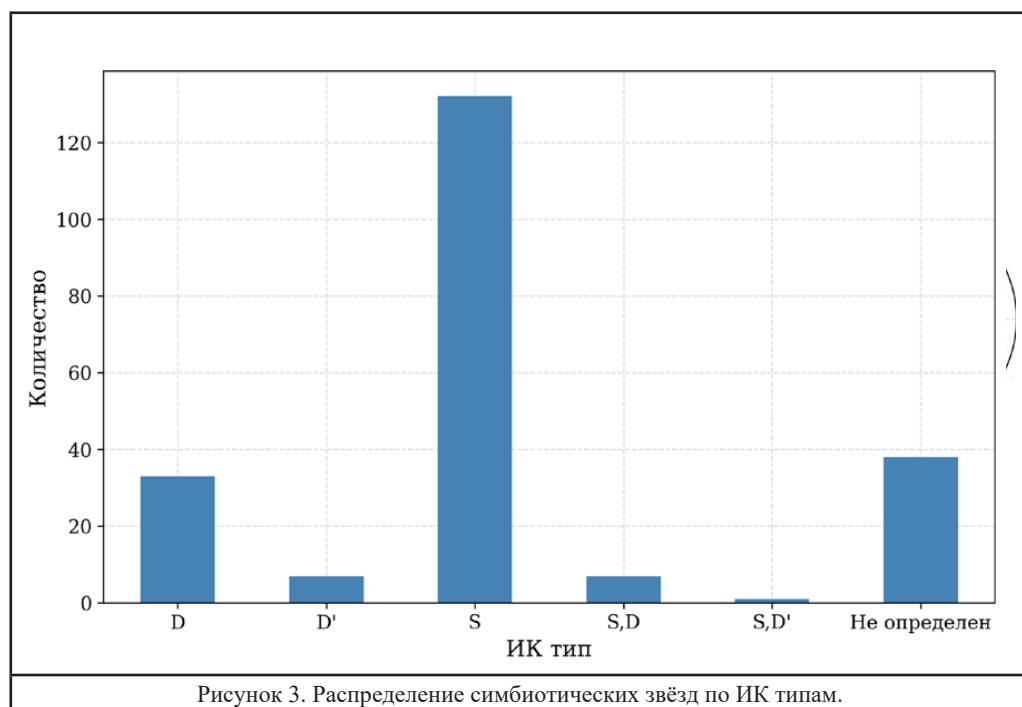


¹ <https://ghalam.kz/>

² <https://fai.kz/>

2. Исследование структуры пылевой составляющей и ее распределения в составе симбиотических объектов. Распределение симбиотических звезд с пылевыми составляющими и без них, классифицированных по ИК типу, представлено на Рисунке 3.

- Планируются наблюдения в ближнем ИК диапазоне для обнаружения пылевых оболочек во внешних и внутренних зонах симбиотического объекта.
- Полученные результаты будут использованы для определения химического состава и плотности пылевой составляющей
- Сравнение характеристик пылевых составляющих, полученных для симбиотических объектов разного типа.



Выбор оборудования для окололунного телескопа

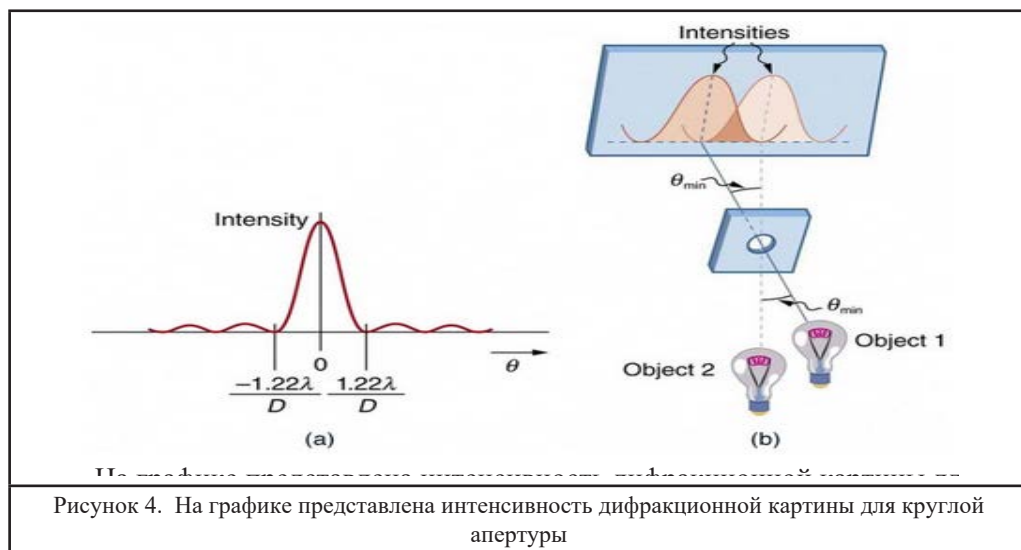
Для проведения фотометрических и спектральных наблюдений симбиотических звезд в инфракрасном диапазоне с использованием телескопа с апертурой 20-30 см на геостационарной орбите и в точке Лагранжа L1 (Солнце – Земля), ключевыми параметрами, являются диапазоны, охватывающие как ближний, так и средний инфракрасный спектр:

Ближний инфракрасный диапазон (NIR): 0.8–5 мкм (важен для исследования пылевых оболочек, аккреционных дисков и холодных компонентов).

Средний инфракрасный диапазон (MIR): 5–25 мкм (для изучения теплового излучения пыли и низкотемпературных процессов). При апертуре 20-30 см телескоп будет иметь чувствительность, достаточную для наблюдения умеренно

ярких объектов в этих диапазонах, но для более слабых симбиотических звезд потребуются более чувствительные приемники и меньшая разрешающая способность спектрограмм.

На рисунке 4 представлена интенсивность дифракционной картины для круглой апертуры. Как и в случае (а) дифракции на одной щели, центральный максимум здесь шире и ярче по сравнению с боковыми максимумами. При наложении дифракционных картин от двух точечных объектов (b) наблюдается их перекрытие. Здесь показан критерий Рэля для предела разрешения: центральный максимум одной дифракционной картины совпадает с первым минимумом другой (Physics. Simple Book Production, Query date: 24.10.2024).



Разрешение телескопа зависит от апертуры и длины волны. Оно выражается через формулу Рэля, формула 1. При длине волны 2 мкм угловое разрешение будет определяться по формуле:

$$\theta = \frac{1.22\lambda}{D} \quad (1)$$

где, θ - угловое разрешение телескопа в радианах, λ - длина волны излучения (в метрах), D - диаметр апертуры (в метрах), 1.22-числовой коэффициент, связанный с дифракционным пределом для круговой апертуры (это коэффициент первой нулевой точки функции Бесселя для круглой апертуры). Формула 1 представляет собой приближенное выражение для дифракционного предела разрешения телескопа [16] Теперь для нашего телескопа примерно с апертурой 20 см (0,2 метр) (при $\lambda = 2\mu\text{m}$ или 2 микрометра) и длиной волны $\lambda = 2\mu = 2 \times 10^{-6}\text{м}$ таким образом используя формулу 1 для телескопа с апертурой 20 см угловое разрешение составляет 1.22×10^{-5} радиан = 2×52 . Соответственно для апертуры 30 см — около 1×68 угловых секунд при длине волны 2 мкм.

Спектральное разрешение (R) для симбиотических звезд важны наблюдения линий эмиссии и поглощения. Чем выше R , тем лучше прибор различает близко расположенные спектральные линии. Спектральное разрешения R определяется как отношение длины волны (λ) к минимальной разнице длин волн ($\Delta\lambda$), которые может различить данный спектрограф:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2)$$

Например, если у спектрографа разрешение $R=1000$, это означает, что при длине волны 1 мкм на спектрограмме будут разделяться линии с длинами волн, отличающихся на $1/1000$ т.е. 0.001 мкм. Оптимальное разрешение для широкополосной фотометрии $R \sim 100 - 500$, оно позволяет различить основные особенности спектра в инфракрасном диапазоне. (например, пылевые эмиссии или холодные компоненты в симбиотических звездах). Для симбиотических звезд важны детализированные спектры, поскольку разные события (аккреция и выбросы вещества) сопровождаются появлением различных спектральных линий (например, He II, O VI и других). Для их измерений требуется разрешение $R \sim 1000 - 3000$.

Чувствительность инфракрасного телескопа определяется несколькими ключевыми факторами, включая систему детекторов, условия наблюдений и параметры телескопа, такие как апертура и система охлаждения. Предел обнаружения указывает на минимальный поток излучения, который может быть зафиксирован телескопом. Этот параметр обычно измеряется в ваттах на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) или в величинах Янского ($1 \text{ Янс} = 10^{-26} \text{ Вт}/\text{м}^2/\text{Гц}$), при его вычислении используется отношение сигнал/шум (S/N):

$$S/N = \frac{F \cdot A \cdot \eta \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{F_{\text{фон}} + N_{\text{шум}}}} \quad (3)$$

где, F - поток от объекта ($\text{Вт}/\text{м}^2$), A - эффективная площадь апертуры телескопа ($A = \pi D^2/4$), η - квантовая эффективность детектора, t - время накопления (в секундах), F - поток фонового излучения (аппаратуры телескопа или космического фона), N - шум детектора.

Чем больше апертура телескопа и дольше время экспозиции, тем выше отношение сигнал/шум и лучше возможность для обнаружения более слабых объектов.

Детекторы HgCdTe (ртуть-кадмий-теллурид) используются для ближнего инфракрасного диапазона (0.8–5 мкм). Эти детекторы обладают высокой чувствительностью к инфракрасному излучению при температуре около 77 К (температура жидкого азота). Они обеспечивают хорошее соотношение сигнал/шум при низких потоках излучения.

Детекторы Si или Ge (кремний-мишметалл и германий) используются для среднего инфракрасного диапазона (5–25 мкм). Эти детекторы требуют активного

охлаждения до температуры 4-10 К, чтобы минимизировать тепловой шум, и они обеспечивают высокую чувствительность для более длинных волн инфракрасного диапазона

Для исследования симбиотических звезд, которые могут быть окружены пылевыми оболочками и дисками, важно достичь высокой чувствительности, чтобы наблюдать слабые компоненты системы. Предел обнаружения 10^{-16} Вт/м² в ближнем инфракрасном диапазоне позволяет изучать тепловое излучение от холодных компонентов и пылевых оболочек в таких системах. В среднем инфракрасном диапазоне важны наблюдения пылевых оболочек, которые излучают на длинах волн 10-20 мкм, и для этого требуется чувствительность порядка 10^{-14} Вт/м².

Поле зрения для фотометрии (до 10 угловых минут) позволяет исследовать большие области неба, что важно для поиска и мониторинга объектов, для спектроскопии предпочтительно узкое поле зрения (~0.5–1 угловых минут), так как оно помогает сфокусироваться на целевом объекте и избежать фона. Кроме того, телескоп должен быть оснащен пассивной или активной системой охлаждения, чтобы минимизировать тепловое излучение от самого телескопа, которое может мешать наблюдениям. Обычно используется пассивное охлаждение до температур порядка 50 К для детекторов в ближнем ИК-диапазоне и активное охлаждение (с помощью жидкого гелия или замкнутых систем) для среднего ИК-диапазона до температур порядка 10 К.

Находясь на высоте около 36 000 км, телескоп на геостационарной орбите имеет стабильное положение относительно Земли. Основным преимуществом такой орбиты является возможность непрерывных наблюдений определенного участка неба, но она может быть ограничена фоновым излучением от Земли и требует защиты от собственного теплового излучения. Точка Лагранжа L1-орбита (~1.5 млн км от Земли) обеспечивает стабильные условия наблюдений без влияния Земли, что делает её более привлекательной для чувствительных инфракрасных наблюдений. В L1 телескоп будет находиться в зоне минимального температурного и радиационного фона, что значительно повысит точность инфракрасных наблюдений.

Для большинства симбиотических звезд время экспозиции может составлять от нескольких секунд до минут для фотометрии и до десятков минут для высокочувствительной спектроскопии.

Заключение

В заключении представлен анализ исследований симбиотических звезд в инфракрасном диапазоне, что позволяет сформулировать основные задачи для наблюдений с окологалактического телескопа, размещенного на окологалактической орбите с апертурой 20–30 см. Предложенные наблюдения направлены на глубокое изучение физических процессов и динамики симбиотических систем, что позволит детально исследовать их эволюцию, пылевые оболочки и природу вспышек. Подбор параметров телескопа, таких как диапазон длин волн, разрешающая

способность и чувствительность, подтверждает его готовность к реализации поставленных задач и эффективному изучению объектов D-типа. Таким образом, основные параметры инфракрасного телескопа: апертура 20–30 см, для работы в диапазоне 0.8–25 мкм требуется угловое разрешение 0.8–1.2», спектральное разрешение $R=1000-3000$, и чувствительность от 10^{-15} до 10^{-13} Вт/м². Оптимальное поле зрения для спектроскопии составляет 0.5–1 угловых минут, а для фотометрии — до 10 угловых минут. Системы охлаждения, активные или пассивные, должны обеспечивать температуры детекторов до 50 К для ближнего ИК диапазона и до 10 К для среднего ИК диапазона. Эти параметры позволят детально изучать симбиотические звезды и их пылевую составляющую.

Литература

- Адриан Б. Люси. (2021). Обнаружение и описание симбиотического аккреционного процесса у холодных эволюционирующих звёзд // Диссертация на соискание степени доктора философии, Колумбийский университет. DOI:10.7916/d8-352d-xr22
- Аллен, Д. А. (1983). Симбиотическая звезда H1-36 // Ежемесячные уведомления Королевского астрономического общества. – Vol. 204. – P.113-127 DOI:10.1093/mnras/204.1.113
- Ананта, А. Г.; Лихи, Д. А. (1993). Инфракрасные наблюдения симбиотических звёзд // Журнал астрофизики и астрономии, том 14, выпуск 1, стр. 37–44. DOI:10.1007/BF02702279
- Бельчинский К., Миколайевска Я. (2000). Каталог симбиотических звезд // Приложение к серии «Астрономия и астрофизика».. 146, 407–435. DOI:10.1051/aas:2000280
- Берман, Л. (1932). 70 Офиучи как тройная система // Бюллетень Ликской обсерватории. № 443. – С. 24–30. url:<https://adsabs.harvard.edu/full/1932LicOB..16...24B>
- Богданов, М.Б., Таранова, О.Г., Шенаврин, В.И. (2017). Результаты инфракрасной фотометрии и модель пылевой оболочки для кандидата в симбиотические звёзды типа Мира V 335 Vul. Астрофизический бюллетень. – Том 72. – С. 447–451. <https://doi.org/10.1134/S1990341317040071>
- Чен П.С., Лю Ц.Ю., Шань Х.Г. (2019). Инфракрасное фотометрическое исследование симбиотических звёзд. Астрофизика и космические науки, том 364, стр. 132. <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3620-2>
- Фист, М. В., Робертсон, Б.С.К., Кэтчпоул, Р.М. (1997). Инфракрасная переменность и природа симбиотических звёзд. // Ежемесячные уведомления Королевского астрономического общества, – Том 179, Выпуск 3. – С. 499–508.. <https://doi.org/10.1093/mnras/179.3.499>
- Ковалевский Ж. (2004). Современная астрометрия // ISBN 5-85099-147-6. С.480
- Кеньон С. Дж. (1986). Симбиотические звёзды. // Кембридж: Издательство Кембриджского университета. DOI:<https://doi.org/10.1017/CBO9780511586071>
- Кесслер М.Ф., Штайнц Дж.А., Андерегт М.Е. и др. (1996). Миссия Инфракрасной космической обсерватории (ISO). Астрономия и астрофизика. – Том 315, № 2, – С. L27–L31. 1996A&A...315L..27K.
- Мишальски Б., Миколайевска Я., Удальский А. (2013). Симбиотические звёзды и другие звёзды с эмиссией в линии H α в направлении галактического балджа // Ежемесячные уведомления Королевского астрономического общества. – Том 432, Выпуск 4. – С. 3186–3217. DOI:10.1093/mnras/stt673
- Миколайевска, Я. (2001). Коллоквиум Международного астрономического союза. Том 183: Астрономия с использованием малых телескопов в глобальном масштабе – С. 167–176. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0252921100078805>
- Физика. Простое создание книги. url: <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/27-6-limits-of-resolution-the-rayleigh-criterion/> Дата запроса: 24.10.2024
- Шенаврин В. И., Таранова О. Г., Наджип А. Э. (2011). Поиск и исследования горячих околзвездных пылевых оболочек //Астрономический журнал. - Том 88. - No 1. - С. 34–85.
- Шильд Х., Айрес С. (2001). Наблюдения симбиотических звёзд с помощью ISO // Астрономия и астрофизика. – Том 378. – С. 146–152. DOI: 10.1051/0004-6361:20011155

References

- Adrian B. Lucy. (2021). The Detection and Description of Symbiotic Accretion from Cool Evolved Stars. PhD Thesis, Columbia University, DOI:10.7916/d8-352d-xr22
- Allen, D. A. (1983). The symbiotic star H1-36 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – Vol.204. – P.113-127 DOI:10.1093/mnras/204.1.113
- Ananth, A. G. ;Leahy, D. A. (1993). Infrared Observations of Symbiotic Stars // *Journal of Astrophysics and Astronomy*, Volume 14, Issue 1, pp. 37-44. DOI:10.1007/BF02702279
- Belczynski K., Mikołajewska J. A. (2000). Catalogue of symbiotic stars // *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*. 146, 407–435. DOI:10.1051/aas:2000280
- Berman, L. (1932). 70 Ophiuchi as a triple system // *Lick Observatory bulletin*. No. 443; - P. 24-30 url:<https://adsabs.harvard.edu/full/1932LicOB..16...24B>
- Bogdanov, M.B., Taranova, O.G. & Shenavrin, V.I. (2017). IR photometry results and dust envelope model for symbiotic Mira star candidate V 335 Vul. *Astrophysical Bulletin*. –Vol.72. –P 447–451. <https://doi.org/10.1134/S1990341317040071>
- Chen, P.S., Liu, J.Y. & Shan, H.G. (2019). Infrared photometric study of symbiotic stars. *Astrophys Space Sci* 364, -P. 132. <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3620-2>
- Feast, M. W., Robertson, B.S.C, Catchpole R.M. (1997). The infrared variability and nature of symbiotic stars. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, – Vol. 179. Issue 3. P. 499–508. <https://doi.org/10.1093/mnras/179.3.499>
- Kovalevsky J. (2004). *Modern Astrometry* // ISBN 5-85099-147-6. P.480 (in RUSS)
- Kenyon S. J. (1986). *The symbiotic stars*. // Cambridge: Cambridge University Press. DOI:<https://doi.org/10.1017/CBO9780511586071>
- Kessler M.F., Steinz J.A., Anderegg M.E. et al. (1996). The Infrared Space Observatory (ISO) mission. *Astronomy and Astrophysics*. – Vol. 315, No. 2, – P. L27 - L31. 1996A&A...315L..27K
- Miszalski B., Mikołajewska, J., Udalski A. (2013). Symbiotic stars and other H α emission line stars towards the Galactic Bulge // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – Vol. 432. Issue 4. – P.3186-3217. DOI:10.1093/mnras/stt673
- Mikołajewska, J. , (2001). *International Astronomical Union Colloquium*. Vol. 183: Small-Telescope Astronomy on Global Scales – P. 167 - 176. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0252921100078805>
- Physics. Simple Book Production. url: <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/27-6-limits-of-resolution-the-rayleigh-criterion/> Query date: 24.10.2024
- Shenavrin V. I., Taranova O. G., Najip A. E. (2011). Search and Study of Hot Circumstellar Dust Envelopes // *Astronomy Journal*. – Vol. 88. – No. 1. – P. 34–85. (in RUSS)
- Schild H, Eyres. S. (2001). ISO observations of symbiotic stars // *A&A*. –Vol.378. –P.146–152 DOI: 10.1051/0004-6361:20011155

CHEMISTRY

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 4. Number 352 (2024), 103–114

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.311>

ӨЖ 662:666.763

FTMP 65.35.33

A. Abdullin^{1*}, ©N. Zhanikulov^{2*}, B. Taimasov¹, E. Potapova³, 2024.

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²Academician E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan;

³D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

INVESTIGATION OF CHEMICAL RESISTANCE OF ZINC-PHOSPHATE CEMENT UNDER INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Aidana Abdullin – PhD student of the Departments «Silicate technologies and metallurgy», M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan, E-mail: aidana_gkz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

Nurgali Zhanikulov – PhD, associate professor of the Departments «Inorganic and technical chemistry», Karaganda university of the name of academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, E-mail:nurgali.zhanikulov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Bahitzhan Taimasov – Doctor of technical sciences, Professor of the Departments «Silicate technologies and metallurgy», M. Auezov South Kazakhstan university, Shymkent, Kazakhstan, E-mail:taimasovukgu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

Ekaterina Potapova – Doctor of technical sciences, Professor of the Department «Chemical Technology of Composite and Binding Materials», D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia, E-mail:Potapova.e.n@muctr.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>.

Abstract. The scientific article presents the results of a study of the chemical resistance of synthesized zinc phosphate cement (ZPC) under the influence of an aggressive environment. ZPC is a special type of cement required for dentistry in Kazakhstan. Its scope of application is extensive, it is not produced in the country, it is transported from abroad, and due to the high cost of dental services, the research is very relevant. ZnO, MgO, SiO₂, Bi₂O₃ and phosphorus slag were used as starting materials for the study of the chemical resistance of ZPC under the influence of aggressive environments. X-ray phase, electron microscopic methods, methodological recommendations and requirements were used for the study.

As a result, the composition of the MPC, fired for 4 hours at a temperature of 1000°C, was: ZnO-83.0; MgO-9.0; SiO₂-3.5; Bi₂O₃-3.0; phosphorus slag-1.5%. In the mixture prepared for molding ZPC in the mold, the cement/solution ratio was C/R=0.3. The setting time began in 6 minutes, and ended in 9 minutes. To determine the chemical resistance of zinc phosphate cement under the influence of an aggressive environment, the tensile strength was determined: in 10% lactic acid-98.8MPa, in 5% NaCl solution-100.1MPa and in carbonated water - 104.4MPa. X-ray phase analysis showed that the

cement contains the mineral zincite-52.3%, periclase-32.9% and quartz-14.8%. As a result of electron microscopic analysis, the cement content was determined: ZnO-87.06%, CaO-0.57%, SiO₂-4.36%, Al₂O₃-0.64%, MgO-7.37%. An amorphous phase was also identified in the mineralogical composition of zinc phosphate cement. The phase consists of excess zinc oxide (ZnO) particles in an amorphous phosphate matrix that did not react with orthophosphoric acid. Wide porosity of the microstructural crystals of ZPC was determined, the porosity size was 1-5µm. Thus, the tests showed that 10% lactic acid as an aggressive environment reduced the strength of the developed zinc phosphate cement by 8.0%, 5% NaCl by 6.8% and carbonated water by 2.8%.

Keywords: zinc phosphate cement, composite material, chemical resistance, tensile strength, microstructure.

А. Абдуллин^{1*}, ©Н. Жаникулов^{2*}, Б. Таймасов¹, Е. Потапова³, 2024.

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

²Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті,
Қарағанды, Қазақстан;

³Д.И. Менделеев атындағы Ресей химиялық технология университеті,
Мәскеу, Ресей.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

МЫРЫШ-ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТІНІҢ АГРЕССИВТІ ОРТАНЫҢ ӘСЕРІНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Абдуллин Айдана – PhD докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, E-mail: aidana_gkz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

Жаникулов Нурғали – PhD, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің «Бейорганикалық және техникалық химия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қарағанды, Қазақстан, E-mail:nurgali.zhanikulov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Таймасов Бахитжан – техника ғылымдарының докторы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Силикаттар технологиясы және металлургия» кафедрасының профессоры, Шымкент, Қазақстан, E-mail: taimasovukgu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

Потапова Екатерина – техника ғылымдарының докторы, Д.И. Менделеев атындағы Ресей химиялық технология университетінің «Композициялық және тұтастырғыш материалдардың химиялық технологиясы» кафедрасының профессоры, Мәскеу, Ресей, E-mail: Potapova.e.n@muctr.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>.

Аннотация. Ғылыми мақалада синтезделген мырыш-фосфатты цементті агрессивті ортаның әсерінен химиялық төзімділігін зерттеу бойынша нәтижелер келтірілген. МФЦ Қазақстанда стоматологияға қажетті арнайы цемент түрі болып табылады. Оның қолдану аясы ауқымды, елімізде өндірілмейді, шет елден тасымалданады және стоматологиялық қызмет түрі қымбат болуына байланысты зерттеу өте өзекті. МФЦ агрессивті ортаның әсерінен химиялық төзімділігін зерттеу үшін бастапқы материалдар ретінде ZnO, MgO, SiO₂, Bi₂O₃ және фосфор шлагы қолданылды. Зерттеу жүргізу үшін рентгенофазалық, электронды микроскопиялық әдістер, әдістемелік нұсқаулықтар мен МЕСТ талаптары қолданылды.

Нәтижесінде 1000 °С температурада 4 сағат күйдірілген МФЦ құрамы:

ZnO - 83,0 %, MgO - 9,0 %, SiO₂ - 3,5 %, Bi₂O₃ - 3,0 %, фосфор шлагы - 1,5 % болды. МФЦті формаға қалыптау үшін дайындалған қоспада цемент/ерітінді қатынасы Ц/Е=0,3. Ұстасу мерзімінің басталуы 6 мин, аяқталуы 9 мин болды. Мырыш-фосфатты цемент үлгілерді агрессивті ортаның әсерінен химиялық төзімділігін анықтау үшін беріктік шегі анықталды: 10 % сүт қышқылында – 98,8 МПа, 5 % NaCl ерітіндісінде – 100,1 МПа және газдалған суда – 104,4 МПа болды. Рентгенофазалық талдау нәтижесінде цемент құрамында цинцит минералы - 52,3 %, периклаз - 32,9 % және кварц - 14,8 % анықталды. Электронды микроскопиялық талдау нәтижесінде цемент құрамында: ZnO – 87,06 %, CaO – 0,57 %, SiO₂ – 4,36 %, Al₂O₃ – 0,64 %, MgO – 7,37 % анықталды. Сондай-ақ, мырыш-фосфатты цементтің минералогиялық құрамында аморфты фаза анықталды. Фаза ортофосфор қышқылымен реакцияға түспеген аморфты фосфат матрицасындағы мырыш оксидінің (ZnO) артық бөлшектерінен тұрады. МФЦ микроқұрылымды кристалдардың кең кеуектілігі анықталды, кеуектілік өлшемі 1-5 мкм құрады. Осылайша, мырыш-фосфатты цемент беріктігіне агрессивті орта 10 % сүт қышқылы – 8,0 %, 5 % NaCl – 6,8 % және газдалған су – 2,8 % төмендетті.

Түйін сөздер: мырыш-фосфатты цемент, композициялық материал, химиялық төзімділік, қысудағы беріктігі, микроқұрылым.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант №АР22683868 – Қазақстанның стоматологиялық қажеттіліктері үшін мырыш-фосфатты композициялық цементтің құрамын зерттеу және әзірлеу).

А. Абдуллин^{1*}, ©Н. Жаникулов^{2*}, Б. Таймасов¹, Е. Потапова³, 2024.

¹Южно-Казахстанский университет им. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан;

³Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
Москва, Россия.

E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ЦИНК-ФОСФАТНОГО ЦЕМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Абдуллин Айдана – PhD докторант, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: aidana_gkz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4690-5441>;

Жаникулов Нургали – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Неорганической и технической химии» Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, E-mail: nurgali.zhanikulov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0750-9753>;

Таймасов Бахитжан – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии силикатов и металлургия» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан, E-mail: taimasovukgu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1844-4932>;

Потапова Екатерина – доктор технических наук, профессор кафедры «Химический технологии композиционных и вязущих материалов», Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия, E-mail: Potapova.e.n@muctr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5796-2265>.

Аннотация. В научной статье представлены результаты исследования химической стойкости синтезированного цинк-фосфатного цемента (ЦФЦ) под воздействием агрессивной среды. ЦФЦ - это особый вид цемента, востребованный в стоматологии Казахстана. Сфера его применения обширна, он не производится в стране, его привозят из-за рубежа, и из-за высокой стоимости стоматологических услуг исследования очень актуальны. В качестве исходных материалов для изучения химической стойкости ЦФЦ при воздействии агрессивных сред были использованы ZnO , MgO , SiO_2 , Bi_2O_3 и фосфорный шлак. При проведении исследования использовались рентгенофазовые, электронно-микроскопические методы, методические рекомендации и требования ГОСТ. В результате состав ЦФЦ, обожженных в течение 4 часов при температуре $1000^\circ C$, составил: ZnO -83,0; MgO -9,0; SiO_2 -3,5; Bi_2O_3 -3,0; фосфорный шлак-1,5%. В смеси, приготовленной для формования ЦФЦ в форме, соотношение цемент/раствор составляло Ц/Р=0,3. Время схватывания начиналось через 6 минут и заканчивалось через 9 минут. Для определения химической стойкости цинк-фосфатного цемента при воздействии агрессивной среды был определен предел прочности на сжатии: в 10%-ной молочной кислоте - 98,8МПа, в 5%-ном растворе $NaCl$ - 100,1МПа и в газированной воде - 104,4МПа. Рентгенофазовый анализ показал, что цемент содержит минерал цинцит - 52,3%, периклаз - 32,9% и кварц - 14,8%. В результате электронно-микроскопического анализа было определено содержание цемента: ZnO -87,06%, CaO -0,57%, SiO_2 -4,36%, Al_2O_3 -0,64%, MgO -7,37%. В минералогическом составе цинк-фосфатного цемента также была обнаружена аморфная фаза. Фаза состоит из избыточных частиц оксида цинка (ZnO) в аморфной фосфатной матрице, которые не вступали в реакцию с ортофосфорной кислотой. Была определена широкая пористость микроструктурных кристаллов ЦФЦ, размер которых составлял 1-5 мкм. Таким образом, испытания показали, что 10%-ная молочная кислота как агрессивная среда снижала прочность разработанного цинк-фосфатного цемента на 8,0%, 5%-ный $NaCl$ - на 6,8% и газированная вода - на 2,8%.

Ключевые слова: цинк-фосфатный цемент, композиционный материал, химическая стойкость, предел прочности, микроструктура.

Кіріспе. Бүгінде элем ғалымдары заманауи композициялық материалдарды, оның ішінде стоматологияға қажетті функционалды цементтердің клиникалық, физикалық, химиялық, адгезиялық және эстетикалық қасиеттерін жақсартып және арнайы құрамдарға қосымша қоспаларды ендіру арқылы әзірлеуде (Leung, 2022). Орта Азия елдері ішінде Қазақстанда да стоматологияға қажетті арнайы цемент түрінің құрамын әзірлеу бойынша зерттеулер жүргізілуде (Abdullin, 2023).

Мырыш-фосфатты цемент (МЦФ) тіс протездер мен коронкаларды бекітуге, тістерді қалпына келтіру кезінде пломбаның астына төсеуге және басқада қалпына келтіру құрылымдары үшін пайдаланылады. Кеңінен қолданудың негізгі себептері олардың жақсы манипуляциялық қасиеттері және цементтің қысқа уақыт ішінде катаю қабілеті болып табылады (Светлов, 2017).

Композициялық материал негізінен ұнтақ және сұйық ерітінді секілді екі компоненттен тұрады. Ұнтақ компоненттің құрамында 90 % мырыш оксиді (ZnO),

3-10% магний оксиді (MgO), сондай-ақ, қосымша қасиеттерді жақсарту мақсатында висмут, кремний оксидтері және т.б. қосылады. Реактивтілік компоненттерді 1000-1300 °C температурада күйдіру арқылы бақыланады. Яғни бұл процесте күйдіру режимі маңызды рөл атқарады. Алынған композициялық материал ақшыл сары түсті, қышқылдарға реакциясы аз болып келеді (Mitra, 2008).

МФЦтің қатаюуы үшін қолданылатын сұйық компонент – фосфор қышқылының ерітіндісі. Қышқыл ерітінді компоненттің құрамында (75-85 %) H_3PO_4 , 10 % дейін Zn және 1-3,1 % Al тұрады (Абдурахманов, 2016). Al және Zn реакция жылдамдығын бақылауда шешуші рөл атқарады, олар ерітіндіде фосфаттардың тиісті мөлшерін қалыптастыру арқылы қышқыл ерітіндінің рН деңгейін жоғарылатады және оның реактивтілігін төмендетеді (Czarnecka, 2003). Бастапқы қатаюу процесі үшін қосылатын ерітінді фосфор қышқылының концентрациясы МФЦтің химиялық және механикалық қасиеттеріне тікелей тәуелді.

Мырыш оксиді ұнтағы мен сулы фосфор қышқылы арасындағы реакция тіпті олардың деактивацияланған түрінде де күшті экзотермиялық болып келеді. Осыған байланысты, шамамен 1,5-2 минут бойы сұйықтыққа аздаған ұнтақты қосу арқылы компоненттерді салқын шыны плитада, кең аумақта араластыру қажет. Араластырудан кейін цементтің рН мәні шамамен 3,5 құрайды, бұл мән пульпаның тітіркенуіне және цементтеуден кейінгі сезімталдыққа әкелуі мүмкін, ал 24 сағаттан кейін, толық әрекеттескенде цемент рН 6,7 деңгейіне жетеді (Lad, 2014), бұл биологиялық тұрғыдан әлдеқайда қолайлы болып саналады. Сондықтан, стоматолог-клиницистер үшін бұл композициялық цемент түрі клиникалық қолдануда рекордқа ие және цементтің басқа түрлеріне қарағанда тиімділігі жоғары екендігін көрсеткен (Kotha, 2023).

МФЦ композициялық материалды зерттеу және тиімділігін арттыру бойынша жасалған ғылыми нәтижелерге сүйеніп, құрамына фосфор өндірісінің қалдығы – электротермофосфор шлагын ендіру мүмкіндігі қарастырылды (Жаникулов, Таймасов, 2023). Яғни, фосфор шлагы мырыш-фосфатты цементтің құрамдас бөлігі ретінде оның қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Бұл мүмкіндікті қарастыруға болатын бірнеше дәлелдер бар. Біріншіден, осыған дейінгі жүргізілген зерттеулерде фосфор шлагын мырыш-фосфатты цемент құрамына ендірудің оңтайлы мөлшері анықталды. Жалпы құрамға небәрі 1,5-3,0 % ендіру ұсынылды. Екіншіден, фосфор шлагының құрамында кездесетін 1,5 % – F, 2 % – P_2O_5 , 4,5 % – CaF_2 адам организмі үшін маңызды қосылыстар болып табылады. Олар сүйектердің, тістердің қалыптасуына қатысады. Үшіншіден, фосфор оксиді цементтің микроқұрылымында беріктік байланыс түзетін фосфаттардың құрамдас бөлігі, ал фтор элементі коррозияға төзімділікті арттыратын, қышқылдардың енуіне қарсы тұратын фторидтер түзуші. **Р және F бір-бірімен синергетикалық әсер етеді, олар мырыш-фосфатты цемент беріктігін, адгезияға және коррозияға төзімділігін жақсартуға көмектеседі (Zhanikulov, Kenzhehan, 2023).** Бұл келтірілген дәлелдер мырыш-фосфатты цементті одан әрі зерттеуге, оның коррозиялық орта әсерінен химиялық төзімділігін анықтаудың өзекті мәселе екендігін көрсетеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Дайындалған мырыш-фосфатты цемент құрамы: ZnO - 83,0 %, MgO - 9,0 %, SiO₂ - 3,5 %, Bi₂O₃ - 3,0 %, фосфор шлагы - 1,5 % тұрады. МФЦтің ұнтақ компоненті 1000 °C температурада 4 сағат күйдіріліп алынған. Нәтижесінде үлестік беті 3345 см²/г құрайтын синтезделген композициялық мырыш-фосфатты цемент алынды. Алынған тәжірибелік мырыш-фосфатты цементке ортофосфор қышқылымен араластыру арқылы өлшемі 20x20x20 мм болатын үлгілер қалыпталды. Бұл мырыш-фосфатты цемент үлгілері коррозиялық ортаның әсерінен химиялық төзімділігін анықтау үшін қажет болып табылады.

Тәжірибе барысында мырыш-фосфатты цементтің агрессивті орталардың әсерінен химиялық төзімділігін анықтау үшін кубик тәрізді үлгілерді бір уақытта 10 % сүт қышқылы ерітіндісіне, 5 % ас тұзы ерітіндісі мен газдалған су ерітіндісіне 1 сағатқа батырылады. Бір сағат уақыттан кейін үлгілер алынады, дисцильденген сумен жуылады және үлгілердегі өзгерістерді көзбен және микроскоппен бақылау жүргізіледі. Өзгерістерді бақылап болғаннан кейін кептіру шкафында 1 сағат бойы (37±1) °C температурада кептіреді. Содан кейін қысу кезіндігі беріктікке сыналады (Сударев, 2021).

Рентгенофазалық талдау бұл қоспадағы затты оның жазықтықаралық қашықтықтарының жиынтығы және рентгенограммадағы сәйкес сызықтардың салыстырмалы қарқындылығы бойынша анықтау болып табылады. Рентгенофазалық талдаудың көмегімен мырыш-фосфатты цементтің фазалық және минералогиялық құрамы анықталады. Сандық және сапалық талдау бойынша жұмыстар Алматы қаласындағы «ЦЕЛСИМ» ЖШС сертификатталған сынақ зертханасында D2 PHASER рентгендік дифрактометр (XRD) құрылғысының көмегімен жүргізілді. Үлгілердің рентгендік деректері қатаң монохроматикалық Cu K_{α1} -сәулеленуді қамтамасыз ететін қисық Ge (111) монохроматоры бар STOE-STADIMP ұнтақ дифрактометрінде алынған. Деректерді жинау позициялық-сезімтал сызықтық детектордың көмегімен сканерлеу аймақтарын 10⁰-дан 70⁰-ге дейін 2q кезең-кезеңмен жабу режимінде өтті, оның түсіру бұрышы 0.02° арна ені бар 5° -тен 2q дейін болды. Фазалық құрамды анықтау winxrowsoftware // STOE&CIEGmbH 6 WinXPowSoftware // STOE&CIEGmbH, 2000 бағдарламалық кешені және Match! Software // CrystalImpactGbr, 2016 бағдарламасы арқылы жүзеге асырылды және PDF-2 (ICDD-2013) ұнтақ дерекқоры онымен байланысты (Есимов, 2012; Мырзақожа, 2013).

Растворлы электрондық-микроскопиялық талдау мырыш-фосфатты цемент үлгісінің бетін электронды зондпен сканерлеу және осы процесте туындайтын сәулеленудің кең спектрін анықтау арқылы жүргізіледі. Электрондық микроскопта кескін алу үшін сигналдар екінші, шағылысқан және жұтылған электрондар болып табылады. Басқа әсерлер, атап айтқанда рентген сәулелері, зерттелетін үлгі материалының химиялық құрамы туралы қосымша ақпарат алу үшін қолданылады. JEOL JSM-6490 LV маркалы электронды микроскоппен жұмыс жасау кезінде электронды сәуленің зерттелетін затпен (ұнтақталған материал) әрекеттесуіне негізделген. Үлгінің беті электронды сәулемен сканерленеді және нәтижесінде пайда болған кері шашыраңқы электрондар беттің топографиясы, сондай-ақ үлгінің физикалық және химиялық қасиеттері туралы ақпаратты тасымалдайды. Бұл электрондар әртүрлі бағыттардан ұшады және оптикалық оське қатысты

симметриялы орналасқан жартылай өткізгіш элементтермен анықталады. Бұл жағдайда сканерлеу процесінде анықталатын электрондардың сандық өзгерістері электрлік сигналдарға айналады. Детектор элементтерінің екі сигналы алдын ала күшейткішпен күшейтіліп, операциялық күшейткішке түседі. Операциялық күшейткіш бұл сигналдарды одан әрі күшейтеді және оларды қосу мен азайтуды бір уақытта жасайды. Жиынтық сигнал композициялық кескінді қалыптастыру үшін бейне сигнал ретінде пайдаланылады, ал айырмашылық сигналы топографиялық кескінді қалыптастыру үшін бейне сигнал ретінде қызмет етеді. Үлгі бетінің гетерогенділігі және ондағы құрамдас элементтердің таралуы туралы ақпаратты тасымалдайтын кері шашыраңқы электрондарды анықтау үлгі бетінің кескінін байқауға мүмкіндік береді. Электронды-оптикалық жүйе жұмыс қашықтығы (WD) 48 мм болған кезде x8 минималды үлкейту кезінде кескіндерді алуға мүмкіндік береді. JEOL JSM-6490 LV маркалы электронды микроскоп 3-100 мкм сызықтық өлшемдердің өлшеу диапазонында, 0,03-1000 мкм сызықтық өлшем көрсеткіштерінің ауқымында, электрмен жабдықтау 220 ± 5 Гц кернеу жиілігінде, үдеткіш кернеу 0,3-30 кВ диапазонында жұмыс жасайды. Үлгілерді электронды-микроскопиялық талдау JEOL JSM-6490 LV маркалы электронды микроскоптың көмегімен жүргізілді (Шадров, 2014).

Нәтижелер және талқылаулар

Мырыш-фосфатты цементті өлшемі 20x20x20 мм болатын үлгілерге қалыптау кезінде цемент/ерітінді қатынасы Ц/Е=0,3 құрады. Ортофосфор қышқылымен (H_3PO_4) араласып қатайған үлгілерді қалыптан шешіп алғаннан кейін олардың орташа салмағы таразыда өлшенді. 1 кубик үлгішенің орташа салмағы 36,5 г құрады. Алынған мырыш-фосфатты цемент үлгілерді агрессивті ортаның әсерінен химиялық төзімділігін анықтау үшін ең алдымен әрқайсысына 50 мл-ден 10 % сүт қышқылы, 5 % NaCl және газдалған су құйылған 3 колбаға салынды. Дайындалған үлгілерді ерітінділерге 1 сағатқа қойылды. Тәжірибелік үлгілердің жалпы көрінісі 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1. Мырыш-фосфатты цементтің тәжірибелік үлгілері

1 сағаттан кейін алынған мырыш-фосфатты цемент үлгілерді дисстильденген сумен шайып, өзгерістерді көзбен бақылау жүргізілді. Нәтижесінде, үлгілердің

түсінің ақшылданғаны байқалды. Өзгерістерді бақылап болғаннан кейін үлгілерді кептіргіш шкафта 1 сағат бойы (37 ± 1) °C температурада кептіру орындалды. Кептіруден кейін үлгілердің орташа салмағын өлшенді, нәтижесінде, салмақта ешқандай өзгерістер болған жоқ.

Сондай-ақ, 20x20x20 мм болатын цемент үлгілерді су (ерітінділер) сіңірілуі және шөгу процессінің орын алмағандығы анықталды. Үлгілерді екі қарама-қарсы бетін егеулеп, тегістеп алып, ПГМ-100МГ4-А маркалы гидравликалық прессте қысу кезіндегі беріктікке сыналады. Мырыш-фосфатты стоматологиялық цементтің қасиеттері бойынша нәтижелер 1 кестеде келтірілген.

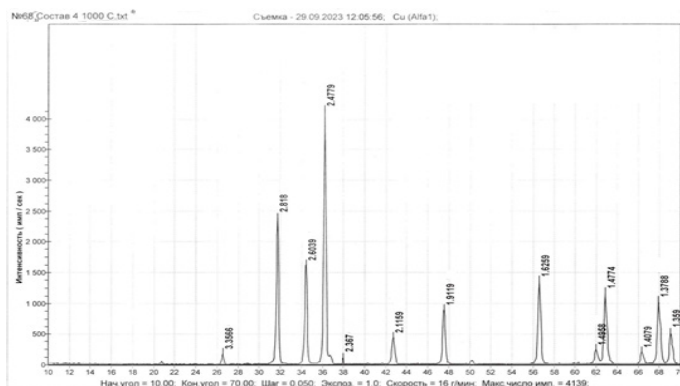
1 – кесте. Мырыш-фосфатты стоматологиялық цементтің қасиеттері

Стоматологиялық цементтің атауы	Ұстасу мерзімі, мин		Беріктік шегі, МПа	Агрессивті ортаға әсер еткеннен кейін қысу кезіндегі беріктік шегі, МПа		
	басталуы	аяқталуы		қысу	10 % сүт қышқылы	5 % NaCl
Мырыш-фосфатты цемент	6	9	107,4	98,8	100,1	104,4

Мырыш-фосфатты цементтің ұстасу мерзімі мен қысу кезіндегі беріктігі ғылыми мақалада келтірілген (Zhanikulov, Kaiyrbayeva, 2023). Осылайша, ортофосфор қышқылымен (H_3PO_4) қатайған мырыш-фосфатты цементке агрессивті ортаның әсер еткендігін байқауға болады. 10 % сүт қышқылы цемент беріктігін 8 %-ға, 5 % NaCl цемент беріктігін 6,8 %-ға және газдалған су 2,8 %-ға төмендеткендігі анықталды.

Беріктікке сыналған үлгілерді рентгенофазалық және электронды микроскопиялық талдау жасау үшін №008 електегі қалдығы 3 % болатындай етіп ұнтақтақтап алынды.

Мырыш-фосфатты цементтің құрылымын рентгенофазалық талдау D2 PHASER рентгендік дифрактометр көмегімен орындалды. 2 суретте мырыш-фосфатты цементтің рентгенограммасы келтірілген.



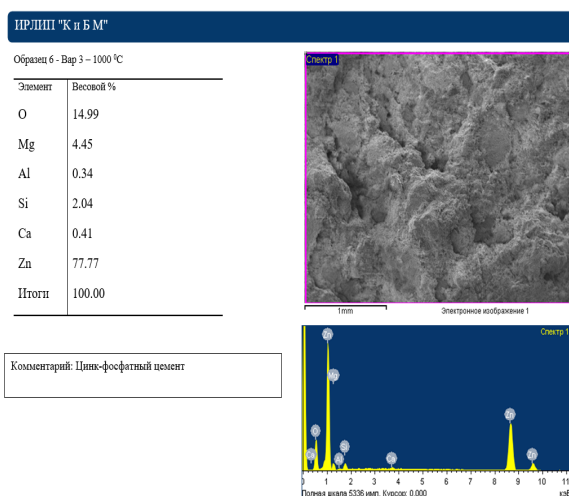
Сурет 2. Мырыш-фосфатты цементтің рентгенограммасы

1000°C температурада күйдіріліп алынған мырыш-фосфатты цемент рентгенограммасында келесідей түзілген минералдарға тиесілі жазықтық аралық нүктелері сәйкестендірілген:

- цинцит (ZnO) $d = 2.818; 2.6039; 2.4779; 1.9119; 1.6259; 1.4774; 1.4079; 1.359 \text{ \AA}$;
- периклаз (MgO) $d = 2.367; 2.1159; 1.4958; 2.44; 2.88 \text{ \AA}$;
- кварц (SiO_2) $d = 3.3566; 1.3788 \text{ \AA}$.

Рентгенофазалық талдау нәтижесінде 1000 °C температурада күйдіріп алған мырыш-фосфатты цемент құрамында цинцит (ZnO) минералдарының көп мөлшерде (52,3 %) түзілгендігін көуге болады. Сонымен қатар, периклаз (MgO) минералына тиісті жазықтық аралық нүктелер байқалды (32,9 %) және кварц (SiO_2) минералы (14,8 %) түзілді.

Мырыш-фосфат цемент фазалық құрылымы JEOL JSM-6490 LV маркалы электронды микроскоптың көмегімен орындалды. 3 суретте мырыш-фосфатты цементтің микроанализ нәтижесі келтірілген.



Сурет 3. Мырыш-фосфатты цементтің микроанализі

1000 °C күйдірілген мырыш-фосфатты цементтің микроскопиялық талдау нәтижесінде алынған элементтік құрамында: ZnO – 87,06 %, CaO – 0,57 %, SiO_2 – 4,36 %, Al_2O_3 – 0,64 %, MgO – 7,37 % мөлшерінде анықталды. Сондай-ақ, құрамына ендірілген 1,5 % фосфор шлагында кездесетін радиоактивті элементтер U, Th, Ra және Cu, Pb, Be улы ауыр металл элементтерінің бөлшектері анықталған жоқ.

Мырыш-фосфатты цемент ұнтағының құрамында цинцит минералы (ZnO) мырыш оксиді ұнтағының ең көп таралған фазасы болып табылады, ал ганит (ZnAl_2O_4) және периклаза (MgO) төмен пайызбен табылды. Сондай-ақ, мырыш-фосфатты цемент үлгілеріндегі құрамда аморфты фазаның анықталғанын атап өткен жөн. Ортофосфор қышқылымен қатайған кезде реакцияға түспеген бөлігі аморфты фосфат матрицасындағы мырыш оксидінің (ZnO) артық бөлшектерінен

тұрады (Viani, 2017). Микросуретте ылғал жағдайына байланысты кристалдардың кең кеуектігін байқауға болады. Микроқұрылымдық тұрғысынан кеуектердік өлшемі 1-5 мкм шамасында, бұл кеуектілік артық судың (ерітіндінің) болуына байланысты. Шамадан көп кеуектілік цементтің беріктігі мен жабысқақтық қасиеттеріне әсер етеді.

Қорытынды

1. Мырыш-фосфатты цемент үлгілерді агрессивті ортаның әсерінен химиялық төзімділігін анықтау кезінде беріктік шегі тексерілді. Нәтижесінде 10 % сүт қышқылында – 98,8 МПа, 5 % NaCl ерітіндісінде – 100,1 МПа және газдалған суда – 104,4 МПа болды. Бұл агрессивті ортаның мырыш-фосфатты цемент беріктігіне сәйкесінше 8,0 %, 6,8 % және 2,8 % төмендеді.

2. Рентгенофазалық талдау нәтижесінде мырыш-фосфатты цемент құрамында цинцит (ZnO) минералы - 52,3 %, периклаз (MgO) минералы - 32,9 % және кварц (SiO₂) минералы - 14,8 % мөлшерінде анықталды.

3. Электронды микроскопиялық талдау нәтижесінде мырыш-фосфатты цемент құрамында: ZnO – 87,06 %, CaO – 0,57 %, SiO₂ – 4,36 %, Al₂O₃ – 0,64 %, MgO – 7,37 % анықталды. МФЦ құрамына ендірілген 1,5 % фосфор шлагында кездесетін радиоактивті элементтер U, Th, Ra және Cu, Pb, Be улы ауыр металл элементтерінің бөлшектері анықталған жоқ.

4. Микроқұрылымдық талдау нәтижесінде мырыш-фосфатты цемент құрамында аморфты фаза анықталды. Бұл фаза қатаю процесі кезінде ортофосфор қышқылымен реакцияға түспеген бөлігі аморфты фосфат матрицасындағы мырыш оксидінің (ZnO) артық бөлшектерінен тұратындығы анықталды. Микроқұрылымды талдау кезінде кристалдардың кең кеуектілігі анықталды, кеуектілік өлшемі 1-5 мкм құрады.

Әдебиеттер

Абдуллин А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потопова Е., Раисова А. (2023). Синтезделген мырыш-фосфатты цемент клинкерінің микроқұрылымын зерттеу. // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының Хабарлары. Химия және технология, — 4(457), — 7-18. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.188>

Абдурахманов А.И., Курбанов О.Р. (2016). Ортопедиялық стоматология. ГЭОТАР-Медиа, — Ресей, — 2016.

Чарнецка Б., Лимановска-Шоу Х., Николсон Дж.В. (2003). Мырыш фосфатты стоматологиялық цементтермен ионды бөлу, еріту және буферлеу. // Материалтану журналы: Медицинадағы материалдар, — 14, — 601–604. <https://doi.org/10.1023/A:1024018923186>

Коза А.К., Николсон Дж.В., Буз С.Е. (2023). Потенциалды сүйек контактілері үшін мырыш фосфатты цементті биологиялық бағалау. // Биомедициналар, — 11, — 250. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020250>

Лад П.П., Камаз М., Тарале К., Кусугал П.Б. (2014). Жабысқақ цементтердің практикалық ойлары: шолу. // Халықаралық ауыз денсаулық журналы, — 6, — 116–120.

Леуанг Г.К-Ч., Вонг А.В-И., Ча О.И. (2022). Стоматологиялық лютинг материалдарын жаңарту. // Стоматология журналы, —10 (11), — 208. <https://doi.org/10.3390/dj10110208>

Митра С.Б., Кертис Р.В., Уотсон, Т.Ф. (2008). Стоматологиялық цементтер: құрамдар және өңдеу әдістері. Стоматологиялық биоматериалдарда: Бейнелеу, Сынау және модельдеу, — Баспа Вудхейд: Даксфорд, Ұлыбритания, — 2008, — 162–193.

Мырзакожа Д.А., Мирзаходжаев А.А. (2013). Заманауи зерттеу әдістері. // ҚБТУ Редакциялық-баспа орталығы. — 2013.

Шадров В.И. (2014). JSM-6490LV электронды микроскоп INCA Energy микроанализдерінің энергетикалық жүйелері.

Сударев Е.А. (2021). Мырыш фосфатты стоматологиялық цементті дайындау. Бакалавриат студенттеріне арналған «Қазіргі заманғы композициялық материалдар» курсы бойынша зертханалық практикалық жұмыстарға және 18.03.01 Химиялық технология студенттердің өзіндік жұмыстарына әдістемелік нұсқаулар. — 2021. — 14 б.

Светлов А.Ю. (2017). Заманауи стоматологиялық цементтер. — 2017, — 4, — 92-95.

Виани А., Сотириадис К., Кумпова И., Манчини Л., Аппаву М-С. (2017). Біріктірілген шағын бұрышты нейтронды шашырау мен микрофокусты рентгендік компьютерлік томографияны қолдану арқылы тіс мырыш фосфатты цементтерінің микроқұрылымдық сипаттамасы. // Стоматологиялық материалдар, — 33(4), — 402-417. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.01.008>

Есимов Б.О., Адырбаева Т.А., Жакипбаев Б.Е. (2012). В.И. Михеев бойынша минералдарды рентгендік анықтаушы, ОҚМУ, Шымкент.

Жаникулов Н., Абдуллин А., Таймасов Б., Кенжехан М. (2023). Мырыш-фосфатты композициялық цемент алу үшін фосфор шлагын зерттеу. // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының Хабарлары. Химия және технология сериясы, — 2(455), — 63-74. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.164>

Жаникулов Н.Н., Абдуллин А.А., Давлетярова Б.С., Қайырбаева М.Ж. (2023). Физикалық-механикалық әдістермен мырыш-фосфатты цементтің сапасын анықтау. «Өнеркәсіптік технологиялар және инжиниринг» // X халықаралық конференциясының жинағы, — 1, — 210-214 б.

Жаникулов Н.Н., Таймасов Б.Т., Абдуллин А.А., Жакипбаев Б.Е., Кенжехан М. (2023). Мырыш-фосфатты цементтің құрамы тістерді пломбалау және протездерді цементтеу үшін қолданылады. №8329 Қазақстан Республикасының пайдалы моделіне патент. 14.06.2023 ж.

References

Abdullin A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potopova E., Raisova A. (2023). Investigation of the microstructure of synthesized zinc-phosphate cement clinker. // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series chemistry and technology, — 4(457), — 7-18. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.188>

Abdurakhmanov A.I., Kurbanov O.R. (2016). Ortopedicheskaya stomatologiya. // GEOTAR-Media, Russia. — 2016. (in Russ.).

Czarnecka B., Limanowska-Shaw H., Nicholson J.W. (2003). Ion-release, dissolution and buffering by zinc phosphate dental cements. // Journal of materials science: Materials in medicine, — 14, — 601–604. <https://doi.org/10.1023/A:1024018923186>

Kotha A.K., Nicholson J.W., Booth S.E. (2023). Biological Evaluation of Zinc Phosphate Cement for Potential Bone Contact Applications. // Biomedicines, — 11, — 250. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020250>

Lad P.P., Kamath M., Tarale K., Kusugal P.B. (2014). Practical considerations of luting cements: A review. // Journal of International Oral Health, — 6, — 116–120.

Leung G.K-H., Wong A.W-Y., Chu C-H., Yu O.Y. (2022). Update on Dental Luting materials. // Dentistry journal, — 10(11), — 208. <https://doi.org/10.3390/dj10110208>

Mitra S.B., Curtis R.V., Watson, T.F. (2008). Dental cements: Formulations and handling techniques. In Dental Biomaterials: Imaging, Testing and Modelling, — Woodhead Publishing: Duxford, UK, — 2008, — 162–193.

Myrzakozha D.A., Mirzakhodzhaev A.A. (2013). Modern research methods, Editorial and publishing center of KBTU. — 2013. (in Russ.).

Shadrov V.I. (2014). Scanning electron microscope JSM-6490LV with energy-dispersive microanalysis systems INCA Energy. (in Russ.).

Sudarev Ye.A. (2021). Polucheniyе tsink-fosfatnogo stomatologicheskogo tsementa. Metodicheskoye ukazaniya k laboratornomu praktikumu i samostoyatel'noy rabote studentov po kursu «Sovremennyye

kompozitsionnyye materialy» dlya studentov napravleniya podgotovki bakalavrov 18.03.01 Khimicheskaya tekhnologiya. – 2021. – 14 p. (in Russ.).

Svetlov A.Yu. (2017). Modern dental cements. – 2017, — 4, — 92-95. (in Russ.).

Viani A., Sotiriadis K., Kumpova I., Mancini L., Appavou M–S. (2017). Microstructural characterization of dental zinc phosphate cements using combined small angle neutron scattering and microfocus X-ray computed tomography. // *Dental materials*, — 33(4), — 402-417. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.01.008>

Yesimov B.O., Adyrbaeva T.A., Zhakipbaev B.E. (2012). X-ray determinant of minerals V.I. Mikheeva, SKSU, — Shymkent. (in Russ.).

Zhanikulov N., Abdullin A., Taimasov B., Kenzhehan M. (2023). Investigation of phosphoric slag for obtaining of zinc-phosphate composite cement. // *News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series chemistry and technology*, – 2(455), — 63-74. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.164>

Zhanikulov N.N., Abdullin A.A., Davletyarova B.S., Kaiyrbayeva M.Zh. (2023). Determination of the quality of Zinc–Phosphate cement by physical and mechanical methods. “Industrial technologies and engineering” // collection of the X International Conference, — 1, — pp. 210-214.

Zhanikulov N.N., Taimasov B.T., Abdullin A.A., Zhakipbaev B.E., Kenzhekhan M. (2023). Composition of zinc phosphate cement for filling teeth and cementing dentures. Patent for utility model of the Republic of Kazakhstan. No. 8329 dated 14.06.2023. (in Russ.).

**G. Baisalova^{1*}, Zh. Tukhmetova², B. Torsykbaeva³, A. Shukirbekova³,
Zh. Ussen³, 2024.**

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

²Karagandy Medical University, Karagandy, Kazakhstan;

³Astana Medical University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: galya_72@mail.ru

CHEMICAL CONSTITUENTS OF HEXANE EXTRACT OF *LYTHRUM SALICARIA* L. ROOTS

Baisalova Galiya – Professor of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Tukhmetova Zhanar – Associate Professor of Karagandy Medical University, Karagandy, Kazakhstan, zhanar.tukhmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3969-8296>;

Torsykbaeva Bigamila – Associate Professor of Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, maha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Shukirbekova Alma – Professor of Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-558>;

Ussen Zhaniya – master's student of Astana Medical University, Astana, Kazakhstan, ussenzhaniya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2026-3055>.

Abstract. The plant *Lythrum salicaria* L. is used in the treatment of inflammatory diseases such as hemorrhoids, dysentery, eczema, varicose veins, periodontitis and gingivitis. A phytochemical study of this plant from the aerial part identified phenolic compounds, flavonoids, tannins, anthocyanins, glycosides (salicarin), triterpenoids and organic acids. In addition, a significant amount of flavones (vitexin, isovitexin, orientin and isorientin) were detected. A representative of sterols, β -sitosterol, has also been identified. This study is based on the first analysis of the content of phytochemicals in a hexane extract obtained from the roots of *Lythrum salicaria* L.. The composition of plant metabolites was analyzed using gas chromatography-mass spectrometry. Forty-eight compounds are identified in roots that can contribute to the medicinal potential of the plant. 74.3% of the identified compounds are fatty acids. The prevailing fatty acids are hexadecanoic acid (29.3%) and 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)- (18.8%). Sesquiterpenoids, triterpenoids are found in very small quantities. Biologically active compounds in plant roots may provide an opportunity to get future medicinal substances. For example, hexadecanoic acid, which is in large amounts in this hexane extract, has antioxidant, hypocholesterolemic, nematocidal and pesticidal activities. The

second most common 9.12-octadecadienoic acid (*Z,Z*)- has antimicrobial properties. In addition, other compounds found in small quantities also have biological activity. For example, phytol show anti-inflammatory activities. Topical application of docosanol is indicated in the treatment of recurrent oral-facial herpes simplex.

Key words: GC-MS, fatty acids, phytochemicals, sesquiterpenoids, triterpenoids

**Ғ. Байсалова^{1*}, Ж. Тухметова², Б. Торсыкбаева³, А. Шукирбекова³,
Ж. Усен³, 2024.**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Қарағанды медициналық университеті, Қарағанды, Қазақстан;

³Астана медициналық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: galya_72@mail.ru

***LYTHRUM SALICARIA L.* ТАМЫРЛАРЫНЫҢ ГЕКСАНДЫ СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІ**

Байсалова Ғалия – Л.Н. Гумилева атындағы ЕҰУ профессоры, Астана, Қазақстан, galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Тухметова Жанар – Қарағанды Медицина университеті доценті, Қарағанды, Қазақстан, zhanar.tuhmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3969-8296>;

Торсыкбаева Бигамила – Астана Медицина университеті доценті, Астана, Қазақстан, maha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Шукирбекова Алма – Астана Медицина университеті профессоры, Астана, Қазақстан, shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-5558>,

Усен Жания - Астана Медицина университеті магистранты, Астана, Қазақстан, ussenzhanিয়া@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2026-3055>.

Аннотация. *Lythrum salicaria L.* өсімдігі геморрой, дизентерия, экзема, варикозды қабыну, пародонтоз және гингивит тәрізді қабыну сипатындағы ауруларды емдеуде қолданылады.

Бұл өсімдікті фитохимиялық зерттеу барысында жер үсті бөлігінен фенолды қосылыстар, флавоноидтар, дубильді заттар, антоциандар, гликозидтер (саликарин), тритерпеноидтар және органикалық қышқылдар анықталған. Сонымен қатар флавоноидтардың (витексин, изовитексин, ориентин және изоориентин) елеулі мөлшері табылған. Стериндердің өкілі β-ситостерин де анықталған. Бұл жұмыстың мақсаты аталмыш өсімдік тамырының гександы сығындысының құрамын газ хроматография-масс спектрометрия әдісінің көмегімен алғаш рет зерттеу.

Өсімдіктің емдік әлеуетіне ықпал ете алатын тамырынан қырық сегіз қосылыс анықталған. Бұл қосылыстар өсімдік метаболиттерінің топтарына жіктелді. Анықталған қосылыстардың 74.3% май қышқылдары болды. Май қышқылдарының ішіндегі басымдылықта гексадекан қышқылы (29.3%) және *Z,Z*-октадека-9,12-диен қышқылы (18.8%). *Z,Z*-октадека-9,12-диен қышқылы омега-6 май қышқылдарының өкілі болып табылады. Олеин қышқылы - ω-9 май қышқылы. Омега-9 қышқылдары глюкозаның сіңірілуіне оң әсері және сусамыр

ауруы, метаболикалық синдромның дамуына кері әсерін тигізуі арқылы адам ағзасы үшін пайдалы май қышқылы болып табылады. Сүт бездері ауруларының алдын алады, иммунитетті арттырады.

Көмірсутектердің үлесі 9.9% құрайды. Оның ішінде ең көп кездесетін өкілдерінің бірі – нонакозан (6.9%). Енбекте гександы сығынды құрамында кездескен қосылыстардың биологиялық белсенділіктері туралы пайдалы ақпараттар келтірілген. Гександы сығындының фитохимиялық құрамын білу, оның негізінде дәрілік субстанциялар даярлауда пайдалы ақпараттар береді. Өсімдіктің тамырын фитофармацевтикалық құндылығы бар шикізат ретінде қарастыруға болады.

Түйін сөздер: ГХ-МС, май қышқылдары, фитохимиялық қосылыстар, сесквитерпеноидтар, тритерпеноидтар

**Г. Байсалова^{1*}, Ж. Тухметова², Б. Торсыкбаева³, А. Шукирбекова³,
Ж. Усен³, 2024.**

¹Л.Н. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан;

³Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан.

E-mail: galya_72@mail.ru

ХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ГЕКСАНОВОГО ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ *LYTHRUM SALICARIA* L.

Байсалова Галия – профессор ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, galya_72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1338-0308>;

Тухметова Жанар – доцент Медицинского университета Караганда, Караганда, Казахстан, zhanar.tuhmetova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3969-8296>;

Торсыкбаева Бигамила – доцент Медицинского университета Астана, Астана, Казахстан, maha-1505@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6999-3900>;

Шукирбекова Алма – профессор Медицинского университета Астана, Астана, Казахстан, shukirbekova.a@amu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3316-558>;

Усен Жания – магистрант Медицинского университета Астана, Астана, Казахстан, ussenzhanিয়া@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2026-3055>.

Аннотация. Растение *Lythrum salicaria* L. используется при лечении воспалительных заболеваний, таких как геморрой, дизентерия, экзема, варикозное расширение вен, пародонтит и гингивит.

При фитохимическом исследовании этого растения из надземной части были определены фенольные соединения, флавоноиды, дубильные вещества, антоцианы, гликозиды (саликарин), тритерпеноиды и органические кислоты. Кроме того, обнаружено значительное количество флавонов (витексин, изовитексин, ориентин и изоориентин). Идентифицирован также представитель стероидов — β-ситостерин.

Целью настоящей работы является изучение состава гексанового экстракта корня этого растения методом газ хроматографии-масс-спектрометрии.

В корне было идентифицировано сорок восемь соединений, которые могут способствовать лекарственному потенциалу растения. Эти соединения были классифицированы к группам растительных метаболитов. 74.3% идентифицированных соединений составили жирные кислоты. Среди жирных кислот преобладают гексадекановая кислота (29.3%) и Z,Z-октадека-9,12-диеновая кислота (18.8%). Z,Z-октадека-9,12-диеновая кислота является представителем омега-6 жирных кислот. Олеиновая кислота представляет собой жирную кислоту ω -9. Кислоты омега-9 – полезные жирные кислоты для организма человека, оказывающие положительное влияние на всасывание глюкозы и отрицательно влияющие на развитие диабета, метаболического синдрома. Предотвращает заболевания молочных желез, повышает иммунитет. Доля углеводов составляет 9.9%. Среди них самым распространенным представителем является наокозан (6.9%).

В работе приведена полезная информация о биологической активности соединений, обнаруженных в гексановом экстракте. Знание фитохимического состава гексанового экстракта дает полезную информацию при создании на его основе лекарственных субстанции. Корень растения можно рассматривать как сырье, имеющее фитотерапевтическую ценность.

Ключевые слова: ГХ-МС, жирные кислоты, фитохимические вещества, сесквитерпеноиды, тритерпеноиды.

Introduction. The genus *Lythrum* L. is represented in the flora of Kazakhstan by ten species. One of them is *Lythrum salicaria* L. (*L. salicaria* L.) 30-200 cm high with thick woody roots. It grows in coastal meadow areas, sedge swamps, along the edges of tugai forests, in rice fields, wet sandy and rocky floodplains. Found in all lowland regions of Kazakhstan.

L. salicaria L. plant is also used in folk medicine and pharmaceuticals. It is used to treat inflammatory diseases such as hemorrhoids, dysentery, eczema, varicose veins, periodontitis and gingivitis (Piwowarski, et al, 2015).

The presence of glycoconjugate in *L. salicaria* L. causes anticoagulant activity (Pawlaczyk, et al, 2010). Phytochemical studies of this plant revealed phenolic compounds, flavonoids, tannins, anthocyanins, glycosides (salicarin), triterpenoids and organic acids from the surface part. Phytochemical studies have shown that the main compounds of *L. salicaria* L. are tannins. 14 phytochemicals have been isolated from the aerial parts, such as 5-hydroxypyrrolidin-2-one, umbelliferone-6-carboxylic acid, 3,3',4'-tri-O-methylellagic acid-4-O- β -D-(2''-acetyl)-glucopyranoside, 3,3',4'-tri-O-methylellagic acid-4-O- β -D-glucopyranoside, daucosterol, phytol, dodecanoic acid, oleanolic acid, 3,3,4'-tri-O-methylellagic acid, corosolic acid, β -sitosterol, peucedanin, buntansin and erythrodiol. The cytotoxic activity of the compounds against three cancer cell lines, colon carcinoma (HT-29), leukemia (K-562), and breast ductal carcinoma (T47D), and Swiss mouse embryo fibroblast (NIH-3T3) cells was assessed. Daucosterol,

corosolic acid, β -sitosterol and erythrodiol have the most cytotoxic activity against the HT-29 cell line. Daucosterol showed the highest activity against the K-562 cell line; its selectivity exceeded methotrexate (positive control) by 13.3 (Manayi, et al, 2013).

In addition, a significant amount of flavones (vitexin, isovitexin, orientin and isoorientin) have been found. Representatives of steroidal compound such as stigmastan-3,5-diene, stigmastan-3,5,22-trien have also been identified (Rauha, et al, 2001).

Ethanol extracts of plant materials demonstrated antimicrobial properties against gram-positive and gram-negative bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and also against the fungus *Candida albicans* (Rauha, et al, 2000).

Also, the extracts obtained by the authors (Becker, et al, 2005) have the activity of the phytopathogenic fungus *Cladosporium cucumerinum*, activity against *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis* and *Micrococcus luteus*.

Extracts obtained with various extractants (n-hexane, chloroform, ethyl acetate and 50% ethanol in water) from the flowering part of *L. salicaria* L. have intestinal effects. Scientists recommend using these extracts orally as a mild stimulant of gastrointestinal motility.

Hydromethanol extracts of *L. salicaria* L. and *Hypericum scabrum* were used as substances to obtain ointments with a wound-healing effect. In this case, the percentage of wound contraction was 89.5 ± 3.7 and 77.6 ± 4.1 , respectively. The *L. salicaria* L. extract also had a positive effect on the overall morphology of the skin (Al-Snafi, et al, 2019).

Phytochemical studies related to the underground part (roots) can only be found in the articles of the following authors (Lee, et al, 2014). For the first time, it was noted that myricetin-3-O- β -D-glucopyranoside, oleanolic acid and betulinic acid were isolated from the roots.

From the above data it is clear that the aerial part of *L. salicaria* L. has been significantly studied. Therefore, the aim of the work is to study the composition of the hexane extract of this plant root using gas chromatography-mass spectrometry.

Materials and methods. *Plant material.* The roots of *L. salicaria* L. was collected in the Akmola region of Kazakhstan in September 2023.

Obtaining dry hexane extract. 150 grams of crushed plant material was extracted with hexane (1,5L) by using the maceration techniques. The hexane extract was filtered through a Teflon filter. After that, the solvent was evaporated in a rotary vacuum evaporator, and the remaining dry extract was dried under vacuum (Baisalova, et al, 2022).

Analysis of the extract by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS).

The chemical composition of the obtained extract was analyzed by Agilent 7890A/5975C. The separation of substances was done using chromatography capillary column (DB-WAXetr) 30 m long and 0,25 mm in internal diameter. The carrier gas (helium) speed was 1 ml/min. The obtained mass spectra were identified using the Wiley 7th edition and NIST'02 libraries (Baisalova, et al, 2014).

Results and discussion. The GC-MS method, used to identify and quantify the

resulting hexane extract, is an analytical method used to determine the amount of active substances in plants used in the production of cosmetics, drugs, pharmaceuticals and food, as well as in forensic science. By using gas chromatography-mass spectrometry, 48 chemical compounds were found in the plant roots (figure 1, table 1). These compounds are classified into special groups of plant metabolites

(hydrocarbons, aldehyde, ester, amide, diterpenoids, fatty acids, sesquiterpenoids, γ -lactone,

fatty alcohols, steroidal compound and triterpenoids).

The share of hydrocarbons is 9.9%. Nonacosane is found in the largest quantity (6.9%). The share of aldehydes is 0.4%. The group of esters includes 12 compounds, their total percentage content is 7.3%. As is known, esters are used in the synthesis of perfumes, food fruit essences and cosmetic flavors, and medicines. The only representative of amides is hexaethylphosphoric triamide (0.2%). Two compounds of the diterpenoids: phytol, acetate (1.3%) and phytol (0.9%) were identified.

The fatty acid group is rich in compounds. 16 carboxylic acids (74.3%) have been found. In percentage terms, hexadecanoic acid (29.3%) and 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)- (18.8%) predominate. 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)- is one of the representatives of omega-6 fatty acids. These fatty acids provide healthy skin and improve blood clotting, relieve inflammation, and relieve pain.

Oleic acid is ω -9 fatty acids. Omega-9 is a very beneficial fatty acid for the human body, which has a positive effect on the absorption of glucose and a negative effect on the development of diabetes and metabolic syndrome. Prevents diseases of the mammary glands, improves immunity. In addition, omega-9 reduces the amount of cholesterol in the blood and negatively affects the formation of cholesterol plaques on the walls of blood vessels. That is, it reduces the risk of developing atherosclerosis. Omega-9 improves tissue metabolism and thereby reduces the risk of chronic inflammation in the body.

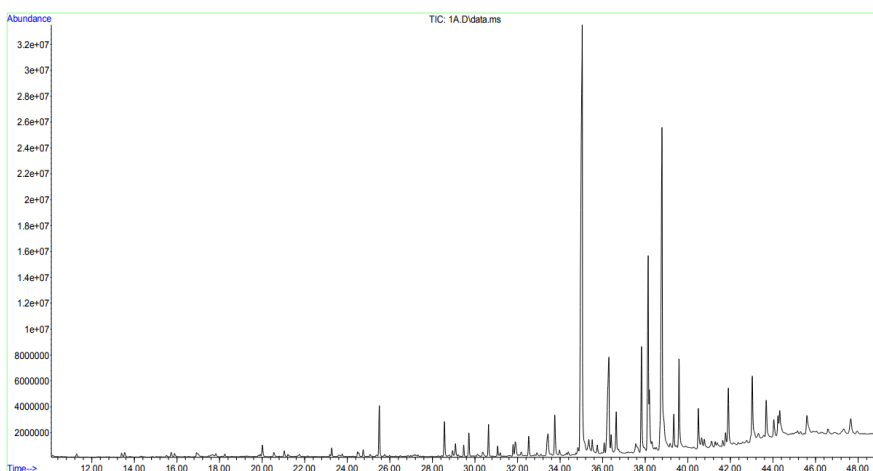


Figure 1 - Chromatographic profile of hexane extract *L. salicaria* L.

Sesquiterpenoids (0.3%), γ -lactone (0.4%), alcohol (1.5%), steroid compounds (3.4%) and triterpenoids (0.3%) have been found.

Biologically active compounds in plant roots may provide an opportunity to get future medicinal substances. For example, hexadecanoic acid, which is in large amounts in this hexane extract, has antioxidant, hypocholesterolemic, nematocidal and pesticidal activities (Sheela, et al, 2013). The second most common 9,12-octadecadienoic acid (*Z,Z*)- (18.8%) has antimicrobial properties (Manilal, et al, 2009).

Table 1- Chemical constituents from the roots of *L. salicaria* L.

№	Retention time	Compound	Percentage %
1	2	3	4
Hydrocarbons (9.9%)			
1	10.17	Heptadecane, 2,6,10,15-tetramethyl-	0.1
2	11.29	Pentadecane	0.2
3	13.55	Hexadecane	0.2
4	15.51	Hexadecane, 2,6,10-trimethyl-	0.1
5	15.73	Heptadecane	0.2
6	17.82	Octadecane	0.2
7	21.76	Eicosane	0.2
8	30.37	Pentacosane	0.3
9	33.43	Heptacosane	1.5
10	36.29	Nonacosane	6.9
Aldehyde (0.4%)			
11	13.40	2-Decenal, (E)-	0.2
12	15.89	2,4-Decadienal, (E,E)-	0.2
Ester (7.3%)			
13	18.25	Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-carboxyisopropyl, isobutyl ester	0.2
14	24.75	Hexadecanoic acid, methyl ester	0.3
15	25.51	Hexadecanoic acid, ethyl ester	1.9
16	28.57	Hexadecanoic acid, butyl ester	1.4
17	28.95	Octadecanoic acid, ethyl ester	0.2
18	29.09	Ethyl Oleate	0.5
19	29.48	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	0.4
20	29.72	9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	0.8
21	31.79	Dibutyl phthalate	0.4
22	32.17	Methyl 19-methyl-eicosanoate	0.2
23	32.53	Butyl 9,12-octadecadienoate	0.8
24	34.39	Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	0.2
Amide (0.2%)			
25	24.49	Hexaethylphosphoric triamide	0.2
Diterpenoids (2.2%)			
26	31.07	Phytol	0.9

27	47.66	Phytol, acetate	1.3
Fatty acids (carboxylic acids) (74.3%)			
28	21.22	Octanoic acid	0.2
29	23.18	Nonanoic acid	0.1
30	31.90	Tetradecanoic acid	0.9
31	35.04	Hexadecanoic acid	29.3
32	36.40	Heptadecanoic acid	0.7
33	38.79	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- ω -6	18.8
34	39.59	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	3.6
35	37.83	Octadecanoic acid	4.3
36	38.14	Oleic Acid ω -9	7.7
37	40.50	Eicosanoic acid	1.7
38	41.78	Heneicosanoic acid	0.6
39	43.03	Docosanoic acid	3.7
40	44.24	Tricosanoic acid	0.9
41	45.60	Tetracosanoic acid	1.4
42	35.75	Erucic acid	0.4
Sesquiterpenoids (0.3%)			
43	23.27	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl- (Hexahydrofarnesyl acetone)	0.3
γ-lactone (0.4%)			
44	36.08	4,8,12,16-Tetramethylheptadecan-4-olide	0.4
Fatty Alcohols (1.5%)			
45	36.64	Behenic alcohol (Docosanol)	1.5
Steroidal compound (3.4%)			
46	43.69	Stigmastan-3,5-diene	2.5
47	44.04	Stigmastan-3,5,22-trien	0.9
Triterpenoids (0.3%)			
48	46.59	9,19-Cyclolanost-24-en-3-ol, acetate, (3 β)-	0.3

Nonacosane possess antiviral agent. Oleic acid has activity that inhibits gram-positive bacteria (Dilika, et al, 2000).

In addition, other compounds found in small quantities also have biological activity. For example, phytol show anti-inflammatory activities (Siswadi, et al, 2021). Topical application of docosanol is indicated in the treatment of recurrent oral-facial herpes simplex (Dilika, et al, 2000). Hexadecanoic acid, ethyl ester shows hypocholesterolemic, nematicide, antiandrogenic, nemolytic activities.

The extract also contains a sesquiterpenoid – hexafarnesyl acetone. Many sesquiterpenoids are known to have flavor and fragrance. Also, many of them have various biological functions, such as cytotoxicity, antiplasmodial, antimicrobial, antidiabetic, anti-viral, and anti-inflammation.

One of the representatives of this group, hexahydrofarnesyl acetone, possess allopathic and pest control potential (Riyadi, et al, 2023; Balogun, et al, 2017).

Conclusion. For the first time, various biologically active substances in hexane extract from *L. salicaria* L. roots, have been identified using GC-MS. Hexadecanoic acid

(29.3%) and 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)- (18.8%) are the prevailing phytochemicals in root. The share of each of the 32 compounds found in the root extract is less than one percent. For example, the share of octadecanoic acid, ethyl ester in the extract is 0.2%. The percentages of pentadecane, hexadecane, heptadecane, octadecane, eicosane, 2-decenal, (E)-, 2,4-decadienal, (E,E)-, methyl 19-methyl-eicosanoate, octanoic acid, hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester and hexaethylphosphoric triamide are also the same.

Almost all of the compounds found in this extract have biological functions. Hexadecanoic acid, ethyl ester shows hypocholesterolemic, nematicide, antiandrogenic, nemolytic activities.

Hexahydrofarnesyl acetone possess allopathic and pest control potential. Hexadecanoic acid has antioxidant, hypocholesterolemic, nematicidal and pesticidal activities. 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)- (18.8%) has antimicrobial properties.

The current findings of the phytochemical composition of hexane extract will be useful information when preparing medicinal substances based on it. The plant root can be proposed as a raw material with phytopharmaceutical value.

References

- Al-Snafi, A. (2019). Chemical constituents and pharmacological effects of *Lythrum salicaria* – A review. IOSR J. Pharm., 9, 51-59. (in Eng.).
- Baisalova, G., Kokorayeva, A., Klivleyeva, N., Azhikanova, Z., Torsykbaeva, B. (2022). Anti-avian influenza virus H5N3 activity of ethanol extract of *Psoralea drupacea* Bge. in chicken embryos. *Planta med.*, 88, 1567. DOI: 10.1055/s-0042-1759334 (in Eng.).
- Baisalova, G., Pankrushina, N., Domrachev, D., Salmikova, O., Erkassov, R. (2014). Volatile constituents of *Halimodendron halodendron* voss growing in Kazakhstan. *JEOBP*, 175, 886-890. DOI: 10.1080/0972060X.2014.935074
- Balogun, O., Ajayi, O. (2017). Hexahydrofarnesyl acetone – rich extractives from *Hildegardia barberi*. *J. Herbes Spices Med. Plants.*, 23, 1-8. DOI: 10.1080/10496475.2017.1350614 (in Eng.).
- Becker, H., Scher, J., Speakman, J., Zapp, S. (2005). Bioactivity guided isolation of antimicrobial compounds from *Lythrum salicaria* L.. *Fitoterapia*, 76, 580-584. DOI: 10.1016/j.fitote.2005.04.011 (in Eng.).
- Dilika, F., Bremner, P., Meyer, J. (2000). Antibacterial activity of linoleic and oleic acids isolated from *Helichrysum pedunculatum*: a plant used during circumcision rites. *Fitoterapia*, 71, 450-452. DOI: 10.1016/S0367-326X(00)00150-7
- Lee, K., Lee, D., Lee, S., Noh, H., Lee, J., Choi, J., Park, C., Kim S., Lee, J., Kim G. (2014). Isolation and identification of antioxidant compound from the *Lythrum Salicaria* L. roots. *J. Appl. Biol. Chem.*, 57, 359-363. DOI: 10.3839/jabc.2014.057 (in Eng.).
- Manayi, A., Saeidnia, S., Ostad, S., Hadjiakhoondi, A., Ardekani, M., Vazirian, M., Akhtar, Y., Khanavi, M. (2013). Chemical Constituents and Cytotoxic Effect of the Main Compounds of *Lythrum salicaria* L.. *J Biosci.*, 68,367-375. DOI: 10.1515/znc-2013-9-1004 (in Eng.).
- Manilal, A., Sujith, S., Seghal, G., Selvin, J., Shakir, Ch. (2009). Cytotoxic potentials of Red Alga, *Laurencia brandenii* collected from the Indian Coast. *Global Journal of Pharmacology*, 3, 90-94. (in Eng.).
- Pawlaczyk, I., Czerchawski, L., Kanska, J., Bijak, J., Capek, P., Pliszczak-Krol, A., Gancarz, R. (2010). An acidic glycoconjugate from *Lythrum salicaria* L. with controversial effects on haemostasis. *J Ethnopharm.*, 131, 63–69. DOI: 10.1016/j.jep.2010.06.001(in Eng.).
- Piwowski, J., Kiss, A. (2015). Contribution of C-glucosidic ellagitannins to *Lythrum salicaria* L. influence on pro-inflammatory functions of human neutrophils. *J Nat Med.*, 69, 100-110. DOI 10.1007/s11418-014-0873-5 (in Eng.).
- Rauha, J., Wolfender, J., Salminen, J., Pihlaja, K., Hostettmann, K., Vuorela, H. (2001). Characterization

of the polyphenolic composition of purple loosestrife (*Lythrum salicaria*), *Zeitschrift für Naturforschung*, 56, 13-20. DOI: 10.1515/znc-2001-1-203

Rauha, J., Remes, S., Heinonen, M., Hopia, A., Kahkonen, M., Kujala, T., Pihlaja, K., Vuorela, H., Vuorela, P. (2000). Antimicrobial effects of Finnish plant extracts containing flavonoids and other phenolic compounds. *Int J Food Microbiol.*, 56, 3-12.

DOI: 10.1016/s0168-1605(00)00218-x (in Eng.).

Riyadi, S., Naini, A., Supratman, U. (2023). Sesquiterpenoids from Meliaceae family and their biological activities, *Mol.*, 28, 4874. DOI: 10.3390/molecules28124874 (in Eng.).

Sheela, D., Uthayakumari, F. (2013). GC-MS analysis of bioactive constituents from coastal sand dune taxon – *Sesuvium portulacastrum* (L.). *Biosci. Discov.*, 4, 47–53 (in Eng.).

Siswadi, S., Saragih, G. (2021). Phytochemical analysis of bioactive compounds in ethanolic extract of *Sterculia quadrifida* R.Br. *AIP Conf. Proc.*, 2353, 030098-1. DOI: 10.1063/5.0053057 (in Eng.).

FTMP

ӘЖ 581.192

©**N. Bolatkyzy¹, A.B. Amangeldi¹, B.E. Dyusebaev², G.E. Berganayeva¹,
M.A. Dyusebaeva¹, 2024.**

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

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz

STUDY OF AMINO ACIDS AND FATTY ACIDS IN THE COMPOSITION OF THE AERIAL PART OF *RUBUS HYBRID*

Bolatkyzy Nazerke – PhD student of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: nbolatkyzy98@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2072-5884>;

Amangeldi Aidana Burkitkyzy – Master’s student of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: aydana.amangeldi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6389-2067>;

Berganayeva Gulzat Ergazyevna – Candidate of Chemical Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>;

Dyusebaeva Moldyr Akimzhanovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Al-Farabi Kazakh National University, E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Dyusebaev Bekzat Erboluly – Undergraduate student of the Abai Kazakh National Pedagogical University, E-mail: xakerkros@gmail.com.

Abstract. At present, the in-depth study of the chemical composition of medicinal plants is progressing intensively. The primary focus is on secondary metabolites, such as phenolic compounds, triterpenoids, alkaloids, and others. However, primary metabolic compounds also play a crucial role in fulfilling the physiological needs of both human and animal bodies. An example of these are essential amino acids, which cannot be synthesized by the body. Along with carbohydrates, lipids, and nucleic acids, amino acids are involved in all life processes as components of proteins. They are included in medications for treating gastrointestinal and liver diseases, to reduce the excitability of the central nervous system, and to improve heart circulation (Zapadnyuk, 1980).

This article investigates the chemical composition of the aerial part of the hybrid *Rubus* plant, collected from the Almaty region, with a particular focus on the amino acid and fatty acid composition. In this study, a quantitative analysis of 20 amino acids was performed using gas-liquid chromatography, 8 of which are essential (threonine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, tryptophan). The majority of the amino acids belong to the aliphatic group, including monoamino acids (glycine, alanine, valine, isoleucine, leucine), as well as amino acids containing an oxy group (threonine,

serine) and sulfur (methionine, cystine). Among the monoamino dicarboxylic acids, asparagine and glutamic acid stand out, while diamino monocarboxylic acids include lysine, arginine, and ornithine. Aromatic amino acids such as tyrosine, phenylalanine, and tryptophan, as well as heterocyclic compounds—histidine, proline, and hydroxyproline—were also identified in the analyzed samples. Quantitative analysis revealed relatively high contents of oleic, linoleic, and palmitic acids (C18:1, C18:2, and C16:0) in the aerial parts of the hybrid *Rubus* plant. Thus, it was concluded that unsaturated fatty acids predominate in the composition of the plant material.

Key words: *Rubus hybrid*, *Rosaceae* family, amino acid, fatty acid, gas-liquid chromatography.

**Н. Болатқызы¹, А.Б. Амангелді¹, Б.Е. Дюсебаев², Г.Е. Берганаева¹,
М.А. Дюсебаева¹, 2024.**

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz

***RUBUS HYBRID* ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНІҢ ҚҰРАМЫНАН АМИН ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ**

Болатқызы Назерке – Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан, E-mail: nbolattyzy98@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2072-5884>;

Амангелді Айдана Бүркітқызы – Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан, E-mail: aydana.amangeldi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6389-2067>;

Берганаева Гульзат Ергазиевна – Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің химия ғылымдарының кандидаты, E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>;

Дюсебаева Мольдыр Акимжановна – Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Дюсебаев Бекзат Ерболұлы – Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университетінің бакалавриат студенті, E-mail: xakerkros@gmail.com.

Аннотация. Қазіргі уақытта дәрілік өсімдіктердің химиялық құрамын тереңдетіп зерттеу қарқынды бастау алды. Негізгі назар екіншілік алмасу заттарына (фенолды қосылыстар, тритерпеноидтар, алкалоидтар және т.б.) беріледі. Бірақ сонымен бірге біріншілік метаболизмдік қосылыстар адам мен жануарлар ағзаларының физиологиялық қажеттіліктерін қалыпты қамтамасыз етуге де қатысады. Олардың мысалы ретінде – организмде синтезделмейтін, алмастырылмайтын амин қышқылдарын келтіруге болады. Оларға – көмірсулар, липидтер және нуклеин қышқылдарымен бірге белоктардың құрамдас бөлігі ретінде барлық тіршілік процестеріне қатысады. Аминқышқылдары орталық жүйке жүйесінің қозуын азайту және жүрек айналымын жақсарту үшін асқазан-

ішек жолдарының, бауырдың ауруларын емдеуге арналған препараттардың құрамына кіреді (Западнюк, 1980).

Бұл мақалада Алматы өңірінен жиналған *Rubus hybrid* өсімдігінің жер үсті бөлігінің химиялық құрамын, атап айтқанда амин және май қышқылы құрамы зерттелді. Бұл зерттеуде газ-хроматография әдісімен 20 амин қышқылының сандық құрамы анықталды, олардың 8-і маңызды (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин, триптофан). Амин қышқылдарының басым бөлігі алифаттық қосылыстарға жатады, олардың ішінде моноаминқышқылдары (глицин, аланин, валин, изолейцин, лейцин), оксигруппасы бар қышқылдар (треонин, серин) және күкіртті қосылыстар (метионин, цистин) да анықталды. Моноаминдикарбон қышқылдары арасында аспарагин мен глутамин қышқылдары, диаминомонокарбон қышқылдары ретінде лизин, аргинин және орнитин байқалды. Хош иісті аминқышқылдары арасында тирозин, фенилаланин және триптофан, ал гетероциклікті қосылыстар ретінде гистидин, пролин және оксипролин табылды. Сандық зерттеу арқылы *Rubus hybrid* өсімдігінің жер үсті бөлігінде олеин, линол және пальмитин қышқылының (C18:1, C18:2 және C16:0) салыстырмалы түрде жоғары құрамы анықталды. Осылайша, өсімдік шикізатының құрамында қанықпаған май қышқылдары басым екендігі анықталды.

Түйін сөздер: *Rubus hybrid*, *Rosaceae* тұқымдасы, амин қышқылы, май қышқылы, газ-сұйық хроматография.

© Н. Болатқызы¹, А.Б. Амангелди¹, Б.Е. Дюсебаев², Г.Е. Берганаева¹,
М.А. Дюсебаева¹, 2024.

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Казахский Национальный Педагогический Университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ В СОСТАВЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ *RUBUS HYBRID*

Болатқызы Назерке – докторант Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: nbolatkyzy98@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2072-5884>;
Амангелди Айдана Буркитқызы – магистрант Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: aydana.amangeldi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6389-2067>;

Берганаева Гульзат Ергазиевна – кандидат химических наук Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, E-mail: gulzat-bakyt@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-7458>;

Дюсебаева Мольдыр Акимжановна – кандидат химических наук, ассоциированный профессор Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, E-mail: moldyr.dyusebaeva@kaznu.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3873-5099>;

Дюсебаев Бекзат Ерболулы – студент бакалавриата Казахского Национального Педагогического Университета имени Абая, E-mail: xakerkros@gmail.com.

Аннотация. В настоящее время интенсивно изучается химический состав лекарственных растений. Основное внимание уделяется вторичным метаболитам (фенольным соединениям, тритерпеноидам, алкалоидам и др.). В то же время первичные метаболические соединения играют важную роль в нормальном обеспечении физиологических потребностей организма человека и животных. Примером таких соединений являются незаменимые аминокислоты, которые не могут синтезироваться в организме. Вместе с углеводами, липидами и нуклеиновыми кислотами они участвуют во всех процессах жизнедеятельности в составе белков. Аминокислоты входят в состав препаратов для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта и печени, для снижения возбудимости ЦНС и улучшения кровообращения сердца (Западнюк, 1980).

В данной статье изучен химический состав надземной части гибридного растения *Rubus hybrid*, собранного в Алматинской области, в частности, состав аминокислот и жирных кислот. В работе с использованием газо-жидкостной хроматографии был проведён количественный анализ 20 аминокислот, среди которых 8 являются незаменимыми (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин, триптофан). Основная часть аминокислот относится к алифатическим соединениям, включая моноаминокислоты (глицин, аланин, валин, изолейцин, лейцин), а также аминокислоты, содержащие оксигруппы (треонин, серин) и серу (метионин, цистин). Среди моноаминодикарбоновых кислот выделяются аспарагин и глутаминовая кислота, в то время как диамино-монокарбоновые кислоты представлены лизином, аргинином и орнитином. Ароматические аминокислоты, такие как тирозин, фенилаланин и триптофан, а также гетероциклические соединения — гистидин, пролин и оксипролин — также были выявлены в составе анализируемых образцов. Количественные исследования показали относительно высокое содержание олеиновой, линолевой и пальмитиновой кислот (C18:1, C18:2 и C16:0) в надземной части *Rubus hybrid*. Таким образом, было установлено, что в составе растительного сырья преобладают ненасыщенные жирные кислоты.

Ключевые слова: *Rubus hybrid*, семейство *Rosaceae*, аминокислоты, жирные кислоты, газожидкостная хроматография.

Кіріспе. Бүгінгі таңда өсімдік негізінде жасалған дәрілік препараттарға сұраныс артуда. Оның бірден бір себебі препараттардың аллергиялық әсері синтетикалық дәрілік заттарға қарағанда төмен болуында. Сарапшылардың қорытындысы бойынша соңғы жылдары фитопрепараттардың қолданыс аясы 3%-ға өскен.

Қазақстанда өсетін белгілі дәрілік өсімдіктердің бірі – *Rubus hybrid* (*Rosaceae* тұқымдасы). Өсімдік жемістері бұрыннан әртүрлі салаларда: медицинада, фармацевтикада және тамақ өнеркәсібінде қолданылған. Ресми медицинада тек жемістер терлеу және денені қызып кетуді басатын дәрі ретінде қолданылады. Әдеби деректерге сүйенсек, таңқурай жапырақтарының химиялық құрамы бай (МЗ РФ, 2003). Ең маңыздылары қабынуға қарсы әсері бар фенолды қосылыстар, оның ішінде таниндер мен флавоноидтар (Реут, 2013), бұл оларды биологиялық

белсенді қосылыстардың (БАҚ) бағалы көзі және медицина мен фармацевтика үшін дәрілік өсімдік шикізатының перспективалы түріне айналдырады. Осыған байланысты зерттеудің мақсаты *Rubus hybrid* өсімдігінің жер үсті бөлігін зерттеу болды.

Rubus hybrid жоғары молекулалы және төмен молекулалы фенолды қосылыстардың, сондай-ақ аскорбин қышқылының, ұшқыш хош иісті заттардың және пектиндердің жоғары құрамымен ерекшеленеді (Фурса, 2015; Ловкова, 2011). Сонымен, 100 г таңқурайда 0.5-тен 0.8% - ға дейін антоцианинді бояғыш заттар, 0.4-тен 0.8% - ға дейін фенолдық қосылыстар (хлороген қышқылы бойынша), 150-ден 190 мг-ға дейін флавонол гликозидтері (күнделікті), 300-ден 450 мг-ға дейін таниндер, 1.5-тен 2.5% - ға дейін пектиндік заттар, аскорбиннің массалық үлесі қышқылдар 100 г-да 25-тен 60 мг-ға дейін (Аврач, 2011).

Өсімдік құрамында екіншілік алмасу заттары (фенолды қосылыстар, тритерпеноидтар, алкалоидтар және т.б.) кездеседі. Бірақ сонымен бірге біріншілік метаболикалық қосылыстар адам мен жануарлар ағзаларының физиологиялық қажеттіліктерін қалыпты қамтамасыз етуге де қатысады. Олардың мысалы ретінде организмде синтезделмейтін амин қышқылдары, атап айтқанда алмастырылмайтындарды келтіре аламыз (Куксова, et al, 2014). Олар көмірсулар, липидтер және нуклеин қышқылдарымен бірге белоктардың құрамдас бөлігі ретінде барлық тіршілік процестеріне қатысады. Амин қышқылдары орталық жүйке жүйесінің козуын азайту және жүрек айналымын жақсарту үшін асқазан-ішек жолдарының, бауырдың ауруларын емдеуге арналған препараттардың құрамына кіреді (Wang, 2000; Sochor, 2019).

Өсімдіктердің май қышқылдарының құрамын зерттеу маңызды практикалық мәнге ие және ғылыми қызығушылық тудырады. Маңызды май қышқылы адам мен жануарлардың денесінде синтезделмейтіндіктен оны тамақпен бірге қабылдау керек. Олар биологиялық белсенділіктің кең спектріне ие қосылыстарды синтездеудің бастапқы өнімі болып табылады (Наука, 1987; Величко, et al, 2015).

Материалдар мен әдістер

Зерттеу нысаны ретінде Алматы өңірінен жинап алынған *Rubus hybrid* өсімдіктің жер үсті бөлігі таңдалды. Жұмыстың мақсаты Амин және май қышқылдарының құрамын салыстырмалы сандық талдау «Карло-Эрба-4200» (Италия-АҚШ) газ-сұйық хроматографында газохроматографиялық талдау жүргізу әдісімен анықтау.

Нәтижелер және талқылау

Эксперименттік бөлім. Өсімдіктің биологиялық белсенді компоненттеріне сандық және сапалық талдау Мемлекеттік фармакопеяны ХІ шығарудың әдістерінде сипатталған әдістерге сәйкес жүргізілді.

1 г талданатын затты 5 мл 6 Н тұз қышқылында 105 °С температурада 24 сағат бойы, аргон ағынымен дәнекерленген ампулаларда гидролиздейді. Алынған гидролизат 40-50 °С температурада және 1 атмосфераға тең қысыммен роторлы буландырғышта үш рет буланады. Пайда болған тұнба 5 мл сульфосалицил қышқылында ериді. Центрифугалаудан кейін (1500 айн/мин) 5 минут ішінде тұнба үстіндегі сұйықтық 1 тамшы/с жылдамдықпен ион алмасу шайыры бар бағана

арқылы өткізіледі, осыдан кейін шайырды 1-2 мл деионизацияланған су және 2 мл 0.5 Н сірке қышқылы жуады; содан кейін шайырды бейтарап рН-ға дейін жуады.

Бағанадан амин қышқылдарын элюциялау үшін ол арқылы ол арқылы 2 тамшы/с жылдамдықпен 3 мл 6 Н NH_4OH ерітіндісін өткізеді. Элюатты түбі дөңгелек колбаға дистилденген сумен бірге жинайды, оны бағананы бейтарап рН-ға дейін жуу үшін пайдаланады. Содан кейін колбаның ішіндегісін 1 атм қысыммен 40-50 °С температурада роторлы буландырғышта буландырады.

Осы колбаға жаңа дайындалған 1.5% SnCl_2 ерітіндісінің 1 тамшысы, 2, 2-диметоксипропан 1 тамшысы және 1-2 мл тұз қышқылымен қаныққан пропанолды қосып, оны 110 °С дейін қыздырып, осы температураға 20 мин бойы ұстап, содан кейін ішіндегісін роторлы буландырғышта колбадан қайтадан буландырады.

Келесі кезеңде колбаға 1 мл жаңа дайындалған ацелдеуші реагентті (сірке ангидридінің 1 көлемі, триэтиламин көлемінің 2 көлемі, ацетонның 5 көлемі) енгізеді және 60 °С температурада 1.5-2 минут бойы қыздырады. Колбаның ішіндегісін мұқият араластырады және сұйықтықтың 2 қабатының пайда болуына қарай – «Карло-Эрба-4200» (Италия-АҚШ) газ-сұйық хроматографында жүргізілген газохроматографиялық талдау үшін жоғарғы (этиацетатты) алады.

Хроматографиялау шарттары:

жалын-иондау детекторының температурасы - 300 °С;

буландырғыштың температурасы - 250 °С;

бағананың бастапқы температурасы - 110 °С;

бағананың соңғы температурасы - 250 °С. Бағананың температурасын бағдарламалау жылдамдығы - минутына 110 °С бастап 185 °С дейін. Бағанының температурасы 250 °С-ге жеткенде, ол барлық аминқышқылдары толық шыққанға дейін осылай сақталуы керек.

Кесте 1. Шикізаттың аминқышқылдарының құрамы туралы мәліметтер

№	Амин қышқылы	Молекулалық формуласы	Жалпы АҚ мөлшері, %
1	Аланин	$C_3H_7NO_2$	4.94
2	Глицин	$C_2H_5NO_2$	4.65
3	Лейцин	$C_6H_{13}NO_2$	7.50
4	Изолейцин	$C_6H_{13}NO_2$	2.15
5	Валин	$C_5H_{11}NO_2$	4.61
6	Глютамат	$C_5H_9NO_4$	12.28
7	Треозин	$C_4H_9NO_3$	3.84
8	Пролин	$C_5H_9NO_2$	11.30
9	Метионин	$C_5H_{11}NO_2S$	2.51

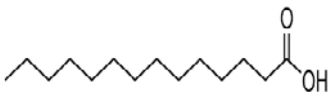
10	Триптофан	$C_{11}H_{12}N_2O_2$	1.71
11	Серин	$C_3H_7NO_3$	5.01
12	Аспаратат	$C_4H_7NO_4$	14.05
13	Цистеин	$C_3H_7NO_2S$	1.79
14	Оксипролин	$C_5H_9NO_2$	1.55
15	Фенилаланин	$C_9H_{11}NO_2$	5.08
16	Тирозин	$C_9H_{11}NO_3$	3.92
17	Гистидин	$C_6H_9N_3O_2$	2.53
18	Орнитин	$C_5H_{12}N_2O_2$	1.34
19	Арганин	$C_6H_{14}N_4O_2$	5.22
20	Лизин	$C_6H_{14}N_2O_2$	4.02

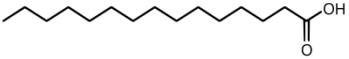
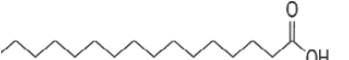

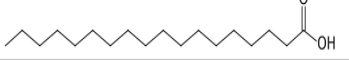

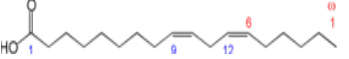
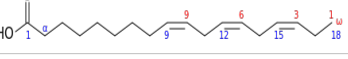
Rubus hybrid өсімдігінің құрамынан 20 амин қышқылы компоненттері газ-сұйықты хроматография арқылы анықталды. Құрамынан көп мөлшерде глютамат (12.28%) және аспаратат қышқылы (14.05%) мөлшерінде анықталды.

Май қышқылдары - ашық тармақталмаған тізбегі бар алифатты бір негізді карбон қышқылдары, көміртек атомдарының жұп санынан, эфирленген түрінде өсімдік және жануар тектес липидтік сипаттағы заттар. Олардың кейбіреулері көміртек атомдары арасында қарапайым байланыстарға ие және қаныққан майлар деп аталады, ал басқаларында қос байланыс бар және қанықпаған болып саналады.

Май қышқылдарының құрамы газ-сұйық хроматографта анықталды. 5 минут ішінде хлороформ-метанол қоспасы (2:1) экстрагирленген сығындысы қағаз фильтрі арқылы сүзіліп, құрғақ массаға дейін концентрлейді. Содан кейін алынатын сығындыға 10 мл метанолды және 2-3 тамшы ацетилхлоридті қосып, 60-70 °C температурада 30 минут бойы метилдейді. Метанол роторлы буландырғыш арқылы айдалады және үлгілер 5 мл гексанмен экстрагирленеді және Қазақ тамақтану Академиясында 1 сағат ішінде «CARLO-ERBA-420» газ хроматографы арқылы талданады. Нәтижесінде май қышқылдарының метил эфирлерінің хроматограммалары алынды.

Кесте 2. Шикізаттың май қышқылдарының құрамы туралы мәліметтер

№	Май қышқылдары	Жалпы формуласы	Құрылымдық формуласы	Өсімдіктегі үлесі, %
1	Миристин (C14:0)	$C_{14}H_{28}O_2$		0.6

2	Пентадецил (C15:0)	$C_{15}H_{30}O_2$		1.2
3	Пальмитин (C16:0)	$C_{16}H_{32}O_2$		5.4
4	Пальмитолеин (C16:1)	$C_{16}H_{30}O_2$		0.2
5	Стеарин (C18:0)	$C_{18}H_{36}O_2$		4.1
6	Олеин (C18:1)	$C_{18}H_{34}O_2$		18.1
7	Линол (C18:2)	$C_{18}H_{32}O_2$		77.6
8	Линолен (C18:3)	$C_{18}H_{30}O_2$		0.2

Май қышқылдарының сандық талдауы нәтижесінде келесі бақылауларды анықталды: 2-кестеде келтірілген мәліметтер *Atraphaxis* тұқымдасының жер үсті бөлігінде олеин, линол және пальмитин қышқылының (C18:1, C18:2 және C16:0) салыстырмалы түрде жоғары құрамын көрсетеді. Осылайша, өсімдік шикізатының құрамында қанықпаған май қышқылдары басым екендігі анықталды.

Қорытынды

Алматы өңірінен жиналған *Rubus hybrid* өсімдігінің жер үсті бөлігінің химиялық құрамын сандық талдау нәтижесінде амин-май қышқылының құрамы, талдаудың заманауи физика-химиялық әдістері анықталды.

Газ-сұйық хроматография әдісімен 20 амин қышқылының сандық құрамы анықталды, оның 8-і маңызды (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин, триптофан). Анықталған аминқышқылдарының көпшілігі алифаттар тобына жатады 8 моноаминокарбон қышқылдары (глицин, аланин, валин, изолейцин, лейцин), соның ішінде құрамында оксигруппа (треонин, серин) және құрамында күкірт бар (метионин, цистин) қосылыстар бар. Моноаминодикарбон қышқылдары аспарагин (аспаратат) және глутамин қышқылдары, диаминомонокарбон қышқылдары – лизин, аргинин және орнитинмен ұсынылған. Хош иісті аминқышқылдарынан тирозин, фенилаланин және триптофан табылды. Гетероциклді қышқылдар гистидин, пролин, оксипролинмен ұсынылған.

Май қышқылдарын сандық зерттеу нәтижелері *Rubus hybrid* өсімдігінің жер үсті бөлігінде олеин, линол және пальмитин қышқылының (C18:1, C18:2 және

C16:0) салыстырмалы түрде жоғары құрамын көрсетеді. Осылайша, өсімдік шикізатының құрамында қанықпаған май қышқылдары басым екені анықталды.

Әдебиеттер

Аврач, А. С. (2011). Анализ плодов боярышника, подвергнутых консервированию различными способами, и их водных экстрактов. Приложение к журналу «Сеченовский вестник»: тезисы итоговой всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Татьянин день». 27 стр. (in Rus.).

Величко В.В., Макарова Д.Л. (2015). Сравнительный фармакогностический анализ листьев и плодов малины обыкновенной. *Journal of Siberian Medical Sciences*. (in Rus.).

Западнюк В.И., Купраш Л.П., Заика М.У., Безверхая И.С. (1980). Аминокислоты в медицине. Киев: Здоровье, 200 стр. (in Rus.).

Куксова, Я. В., Аврач А.С., Самылина И.А. (2014). Разработка показателей качества настоев плодов малины. Сборник научных трудов научно-методической конференции «II Гаммермановские чтения». Санкт-Петербург. 56-57 стр. (in Rus.).

Ловкова М.Я., Бузук Г.Н. (2011). Лекарственные растения - концентраты и сверхконцентраты меди и ее роль в метаболизме. *Прикладная биохимия и микробиология*. Т.47. №2. 209-216 стр. (in Rus.).

МЗ РФ (2003). Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой: Методические указания (МУК 4.1.1483 - 03), 36 стр. (in Rus.).

Наука (1987). Растительные ресурсы СССР : цветковые растения, их химический состав, использование ; семейство Hydrangeaceae-Haloragaceae. Ленинград. 86–92 стр. (in rus.).

Реут А.А., Миронова Л.Н. (2013) Изучение аминокислотного и элементного состава некоторых представителей рода *Rosonia*. Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. №11. 165-169 стр. (in Rus.).

Фурса С.Н., Колосова О.А., Коренская И.М. (2015). Изучение аминокислотного состава подземных и надземных органов валерианы волжской и валерианы сомнительной, произрастающих в Воронежской области. *Вестник ВГУ. Серия: химия, биология, фармация*. №3. 135-139 стр. (in Rus.).

Sochor, M. et al. (2019). Изменение уровня плоидности в роде *Rubus* в Паннонском бассейне и на северных Балканах, и эволюционные последствия. *Plant Syst*. Т. 305. С. 611–626. DOI:10.1007 / s00606-019-01593-3 (in Eng.).

Wang S.Y., Lin H.S., Agric J. (2000). Антиоксидантная активность в плодах и листьях ежевики, малины и клубники в зависимости от сорта и стадии развития. *Food Chem*. № 48. С. 140–146. DOI:10.1021/jf9908345 (in Eng.).

References

Avrach, A.S. (2011). Analysis of hawthorn fruits preserved in various ways and their aqueous extracts. Supplement to the journal “Sechenov Bulletin”: abstracts of the final all-Russian scientific conference of young researchers with international participation “Tatiana’s Day”. pp. 27. (in Rus.).

Fursa S.N., Kolosova O.A., Korenskaya I.M. (2015). Study of amino acid composition of underground and aboveground organs of *Valeriana volgaica* and *Valeriana dubiousa* growing in the Voronezh region. *VSU Bulletin. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*. No. 3. pp. 135-139. (in Rus.).

Kuksova, Ya. V., Avrach A.S., Samylina I.A. (2014). Development of quality indicators for raspberry fruit infusions. Collection of scientific papers of the scientific and methodological conference “II Hammerman Readings”. St. Petersburg. pp. 56-57. (in Rus.).

Lovkova M.Ya., Buzuk G.N. (2011). Medicinal plants - concentrators and superconcentrators of copper and its role in metabolism. *Applied biochemistry and microbiology*. Vol.47. No. 2. pp. 209-216. (in Rus.).

Ministry of Health of the Russian Federation (2003). Determination of the content of chemical elements in diagnostic biosubstrates, preparations and biologically active additives by mass spectrometry with inductively coupled argon plasma: Methodical instructions (МУК 4.1.1483 - 03), pp. 36. (in Rus.).

Reut A.A., Mironova L.N. (2013) Study of amino acid and elemental composition of some representatives of the genus *Paeonia*. Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University. No. 11. pp. 165-169. (in Rus.).

Science (1987). Plant resources of the USSR: flowering plants, their chemical composition, use; family Hydrangeaceae-Haloragaceae. Leningrad. pp. 86–92. (in Rus.).

Sochor, M. et al. (2019). Ploidy level variation in the genus *Rubus* in the Pannonian Basin and the northern Balkans, and evolutionary implications. *Plant Syst.* Vol. 305. pp. 611–626. DOI:10.1007 / s00606-019-01593-3. (in Eng.).

Velichko V.V., Makarova D.L. (2015). Comparative pharmacognostic analysis of leaves and fruits of common raspberry. *Journal of Siberian Medical Sciences.* (in Rus.).

Wang S.Y., Lin H.S., Agric J. (2000). Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage, *Food Chem.* No 48. pp. 140–146. DOI:10.1021/jf9908345. (in Eng.).

Zapadnyuk V.I., Kuprash L.P., Zaika M.U., Bezverkhaya I.S. (1980). Amino acids in medicine. Kyiv: Health, pp. 200. (in Rus.).

ӨӘЖ 664.66

FTAXP 65.33.03

© **A.A. Duisenbay**¹, **E.K. Assembayeva**^{1*}, **M.O. Kozhakhiev**¹,
D.E. Nurmukhanbetova², **A.Zh. Bozhbanov**¹, 2024.

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Narxoz University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

PHYSICOCHEMICAL INDICATORS AND SAFETY OF SOURDOUGH BREAD

Duisenbay A.A. – master’s student, 2nd year, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: akniet_duisenbai@mail.ru. ORCID: 0009-0001-6008-0618;

Assembayeva E.K. – PhD, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Kozhakhiev M.O. – PhD, Almaty Technological University, Department of “Food Technology”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: madinamko@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5767-5154;

Nurmukhanbetova D.E. – candidate of technical sciences, Narxoz University, EP “Restaurant and hotel business” Almaty, Kazakhstan, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narxoz.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Bozhbanov A.Zh. – candidate of biological sciences, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, E-mail: bozhbanov2011@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2139-4523.

Abstract. The main direction of development in the baking industry is the application of technologies that make rational use of raw materials, ensure their safety, and enhance the nutritional and biological value of the product. Bread is a daily consumable product, so it is important to create a range of functional bread products and increase their production. This includes the technology of making sourdough bread, which consists of lactic acid bacteria cultures. The widespread use of sourdough of various compositions in baking is driven by producers’ desire to reduce the use of yeast in bread recipes

Improving the quality and safety of bread is a primary focus of research in the field of baking. This article presents an analysis of the physical-chemical indicators of quality and safety of bread samples with the aim of developing a technology for producing bread with functional properties

The quality characteristics of bread are significantly improved by the addition of sourdough composed of lactic acid bacteria cultures. The addition of sourdough caused a change in the acidity of the bread, which increased by 0.3 degrees. Bread made with sourdough has a higher acidity than yeast bread, which positively affects the quality of the product. Due to this property, sourdough bread can retain its freshness, taste, and aroma for a longer time. The porosity in all samples was within the normal range, with

the porosity of the bread being between 69-71.2%. There was no significant difference in moisture content.

Based on the conducted research and the obtained data, it can be concluded that the addition of sourdough composed of lactic acid bacteria cultures has a positive effect on the physicochemical quality indicators of the bread samples. The concentration of heavy metals and radionuclides in the examined bread samples did not exceed the maximum allowable concentrations (MAC).

Keywords: bread, quality, sourdough, physicochemical indicator, safety, heavy metals, radionuclides.

© А.А. Дуйсенбай¹, Э.К. Асембаева^{1*}, М.О. Кожихиева¹,
Д.Е. Нурмуханбетова², А.Ж. Божбанов¹, 2024.

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

ҰЙЫТҚЫ ҚОСЫЛҒАН НАННЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІ

Дуйсенбай А.А. – 2 курс магистранты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: akniet_duisenbai@mail.ru, ORCID: 0009-0001-6008-0618;

Асембаева Э.К. – PhD, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Кожихиева М.О. – PhD, Алматы технологиялық университеті, «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы» кафедрасы, Алматы, Қазақстан; E-mail: madinamko@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5767-5154;

Нурмуханбетова Д.Е. – техника ғылымдарының кандидаты, Нархоз университеті, «Мейрамхана және отель бизнесі» білім беру бағдарламасы, Алматы, Қазақстан, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narhoz.kz, ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Божбанов А.Ж. – биология ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан, E-mail: bozhbanov2011@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2139-4523.

Аннотация. Нан пісіру саласын дамытудың басым бағыты шикізатты ұтымды пайдаланатын, қауіпсіздігін қамтамасыз ететін, сондай-ақ өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыратын технологияларды қолдану болып табылады. Нан күнделікті тұтынатын өнім болғандықтан функционалды нан өнімдерінің ассортиментін жасап, олардың өндірісін ұлғайту маңызды. Бұл бағыт сүтқышқылды бактериялардың штаммдарынан тұратын ұйытқы негізіндегі нан дайындау технологиясын қамтиды. Нан пісіруде әртүрлі құрамдағы ұйытқы дақылдарын кеңінен қолдану өндірушілердің нан дайындау рецептінде ашытқыларды пайдалануды азайтуға ұмтылуымен байланысты.

Нанның сапасы мен қауіпсіздігін арттыру нан пісіру саласындағы зерттеулердің негізгі бағыты болып табылады. Бұл мақалада функционалды өнім қасиетіне ие

нан өндіру технологиясын жасау мақсатында нан үлгілерінің физика-химиялық сапа көрсеткіштері мен қауіпсіздігіне талдаулар жүргізілді.

Нанның сапалық сипаттамалары сүтқышқылды бактериялардың штаммдарынан тұратын ұйытқы қосылғанда айтарлықтай жақсарады. Ұйытқы қосу нанның қышқылдығына өзгерістер туғызды, ұйытқы қосылғанда қышқылдылық 0,3 градусқа жоғарылады. Ұйытқы қосылып дайындалған нан ашытқыға қарағанда жоғары қышқылдыққа ие болады, бұл өз кезегінде өнімнің сапасына оң әсер етеді. Осы қасиетінің арқасында ұйытқы қосылған нан балғындығын, дәмін және хош иісін ұзағырақ сақтай алады. Барлық үлгілердегі кеуектілік қалыпты шектерде болды, нанның кеуектілік көрсеткіші 69-71,2% аралығында болады. Білгалдылықта айтарлықтай айырмашылық болмады.

Жүргізілген зерттеулер мен алынған мәліметтер негізіне сүйене отырып сүтқышқылды бактериялардың штаммдарынан тұратын ұйытқы қосунан үлгілеріне физика-химиялық сапа көрсеткіштеріне оң әсер етеді деп қорытындылауға болады. Зерттелетін нан үлгілеріндегі ауыр металдардың концентрациясы мен радионуклидтер шекті рұқсат етілген концентрациядан аспады.

Түйін сөздер: нан, сапа, ұйытқы, физика-химиялық көрсеткіш, қауіпсіздік, ауыр металдар, радионуклидтер.

© А.А. Дуйсенбай¹, Э.К. Асембаева^{1*}, М.О. Кожихиева¹,
Д.Е. Нурмуханбетова², А.Ж. Божбанов¹, 2024.

¹ Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

² Университет Нархоз, Алматы, Казахстан.

E-mail: elmiraasembayeva@mail.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ХЛЕБА С ЗАКВАСКОЙ

А.А. Дуйсенбай – магистрант 2 курса, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: akniet_duisenbai@mail.ru, ORCID: 0009-0001-6008-0618;

Э.К. Асембаева – PhD, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: elmiraasembayeva@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7964-7736;

М.О. Кожихиева – PhD, Алматинский технологический университет, кафедра «Технология продуктов питания», Алматы, Казахстан, E-mail: madinamko@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5767-5154;

Д.Е. Нурмуханбетова – кандидат технических наук, Университет Нархоз, ОП «Ресторанный и отельный бизнес», Алматы, Казахстан, E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narhoz.kz, ORCID: 0000-0002-8939-6325;

А.Ж. Божбанов – кандидат биологических наук, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан, E-mail: bozhbanov2011@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2139-4523.

Аннотация. Основным направлением развития хлебопекарной промышленности является применение технологий, рационально использующих сырье, обеспечивающих его безопасность и повышающих пищевую и биологическую ценность продукта. Хлеб – продукт ежедневного потребления, поэтому важно

создавать ассортимент функциональных хлебных изделий и увеличивать их производство. К этому направлению относится технология приготовления хлеба на основе закваски, состоящей из культур молочнокислых бактерий. Широкое использование закваски различного состава в выпечке связано со стремлением производителей сократить использование дрожжей в рецептуре хлеба.

Повышение качества и безопасности хлеба является основным направлением исследований в хлебопечении. В данной статье проведен анализ физико-химических показателей качества и безопасности образцов хлеба с целью разработки технологии производства хлеба с функциональными свойствами.

Качественные характеристики хлеба значительно улучшаются при добавлении закваски, состоящей из культур молочнокислых бактерий. Это добавление вызвало изменение кислотности хлеба: она увеличилась на 0,3 градуса. Хлеб, приготовленный с использованием закваски, имеет более высокую кислотность, чем дрожжевой, что, в свою очередь, положительно влияет на качество продукта. Благодаря этому свойству хлеб на заквасках может дольше сохранять свежесть, вкус и аромат. Пористость во всех образцах находилась в пределах нормы, показатель пористости хлеба составил 69-71,2%. Существенной разницы во влажности не наблюдалось.

На основании проведенных исследований и полученных данных можно сделать вывод, что добавление закваски, состоящей из культур молочнокислых бактерий, оказывает положительное влияние на физико-химические показатели качества образцов хлеба. Концентрация тяжелых металлов и радионуклидов в исследованных образцах не превышала предельно допустимых концентраций (ПДК).

Ключевые слова: хлеб, качество, закваска, физико-химический показатель, безопасность, тяжелые металлы, радионуклиды.

Кіріспе. Азық-түлік өнімдерінің сапалы, қауіпсіз және құнарлы болуы бүкіл әлемдегі тұтынушылар мен денсаулық сақтау агенттіктерінің негізгі мәселелерінің бірі болып табылады, өйткені сапалы және қауіпсіз өнімдер адам денсаулығының және оның генофондының сақталуының кепілі. ДДҰ (Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы) мәліметі бойынша құрамында ауыр металдар, вирустар, бактериялар, паразиттер бар қауіпті заттар тағамдық диареядан қатерлі ісікке дейін 200-ден астам түрлі ауруларды тудыруы мүмкін (Peltomaa, et al., 2021; Kang, et al., 2021; Ruiz-Capillas, et al., 2019; Хамидулина, және т.б. 2021). Дегенмен, тамақ өнімдерін дайындау, сақтау, орау технологиясының барлық параметрлері сақталса да, олардың сапасы мен қауіпсіздігін үнемі қамтамасыз ету оңай емес. Қоршаған ортаның әртүрлі өндірістік қалдықтармен үздіксіз ластануы, ауыл шаруашылығында химиялық және биологиялық текті жүздеген әр түрлі пестицидтерді қолдану тамақ шикізатына, содан кейін тамақ өнімдеріне түсетін қауіпті токсиканттардың тұрақты, алуан түрлі көзін тудырады (Shao, et al., 2021).

Нан өнімдері – адам рационының алмастырылмайтын және маңызды бөлігі болып табылады, сондықтан халықтың оларға деген қажеттіліктерін

қанағаттандыру шешімін талап ететін өзекті мәселе. Олардың рецептурасына профилактикалық қасиеттер беретін және адамның тамақтану рационының сапалық және сандық құрамына айтарлықтай әсер ететін компоненттерді (ақуыз, минералды заттар, дәрумендер) енгізу белгілі бір заттардың жетіспеушілігімен байланысты әртүрлі аурулардың алдын алу мәселесін тиімді шешуге мүмкіндік береді (Kubicová, et al., 2021; Давыденко және т.б., 2013; Романова және т.б., 2020).

Нан өнімдері халықтың барлық топтары үшін жаппай сұранысқа ие өнім болып табылады, сондықтан олардың сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету өте өзекті мәселе болып табылады. Нан өнімдерінің тағамдық құндылығын арттыру үшін биологиялық белсенді қоспалар ғана емес, сонымен қатар өсімдік және жануар текті өнімдер де қолданылады. Теңгерімді тамақтану теориясына сәйкес, нан және нан өнімдеріндегі ақуыздар, майлар және көмірсулар мөлшері оңтайлы қатынаста болмағандықтан, нан өнімдерін байыту қажеттілігі туындайды (Tolve, et al., 2021; Буренкова, және т.б., 2023; Parchenko, et al., 2020).

Соңғы уақытта нан-тоқаш пісіруде олардың тағамдық құндылығын жақсарту үшін рецептке сүт өнімдері (сарысу, айран, майсыздандырылған сүт, қаймақ) және сүтқышқылды бактериялардың дақылдары бар ұйытқылар кеңінен қолданылады. Бұл өнімдер ең аз энергетикалық құндылығы бар биологиялық белсенді заттар кешенін қамтитын тамақ өнімдерін өндіруде маңызды шикізат көзі болып табылады (Грязина, 2022).

Ұйытқылар нанға қосымша дәм мен хош иіс беру құралы ретінде ғана емес, сонымен қатар нан өнімдерінің қасиеттерін технологиялық жағынан жақсартады. Ұйытқы нанға арналған табиғи консервант болып табылады және зен саңырауқұлақтарының дамуын азайтады, осылайша нан өнімдерінің жарамдылық мерзімін арттырады (Cavallo, et al., 2017; Mantzourani, et al., 2019).

Түсі, нақты көлемі және құрылымы сияқты физика-химиялық қасиеттер нанның сапасына әсер етеді, оған ұн түрі, қоспалар және басқа ингредиенттер сияқты басқа факторлар әсер етуі мүмкін (Xiao, et al., 2016; Mudau, et al., 2021).

Зерттеу жұмысының мақсаты: сүтқышқылды бактериялардың дақылдарынан тұратын ұйытқы қосылып дайындалған нан үлгілерінің физика-химиялық сапа көрсеткіштері мен қауіпсіздігін зерттеу.

Зерттеу нысаны мен әдістері

Зертханалық талдаулар жүргізу үшін бірінші сұрыпты бидай ұны, нан ашытқысы, сүтқышқылды бактериялардың дақылдарынан тұратын ұйытқы, ас тұзы, ауыз су алынып, нан үлгілері (қоспасыз нан және сүтқышқылды бактериялардың дақылдарынан тұратын ұйытқы қосылып дайындалған нан) дайындалды.

Ылғалдылық, қышқылдық және кеуектілік сияқты физика-химиялық көрсеткіштерді бағалау үшін жалпы стандарт әдістері қолданылды.

– МЕМСТ 21094-75 «Нан және нан өнімдері. Ылғалдылықты анықтау әдісі». Әдістің мәні – нан өнімнің үлгісін белгілі бір температурада (130 °C) кептіру және ылғалдылықты есептеу.

– МЕМСТ 5670-96 «Нан-тоқаш өнімдері. Қышқылдықты анықтау әдістері».

Қышқылдық деп 100 г өнімдегі қышқылдарды бейтараптандыру үшін қажетті натрий гидроксиді немесе калий гидроксиді 1 моль/дм³ нақты молярлық концентрациядағы ерітіндінің текше сантиметрдегі көлемін айтады.

– МЕМСТ 5669-96 «Нан-тоқаш өнімдері. Кеуектілікті анықтау әдісі». Нанның кеуектілігі кеуек көлемінің нан жұмсағының жалпы көлеміне қатынасын көрсетеді және пайызбен көрсетіледі.

Нан үлгілеріндегі ауыр металдарға талдау жүргізу үшін колориметриялық және атомды абсорбционды әдістер қолданылды. Бұл әдістер тамақ өнімдеріндегі ауыр металдардың қосындыларын анықтау үшін кеңінен қолданылады: МЕМСТ 30178-96 «Шикізат және тамақ өнімдері. Уытты элементтерді анықтаудың атомдық абсорбциялық әдісі», МЕМСТ 26927-86 «Шикізат және тамақ өнімдері. Сынапты анықтау әдісі», МЕМСТ 26930-86 «Шикізат және тамақ өнімдері. Мышьяқты анықтау әдісі».

Нан үлгілеріндегі радиациялық қауіпсіздікті бағалау үшін МЕМСТ 32164-2013 «Тамақ өнімдері. Стронций Sr-90 және цезий Cs-137 анықтау үшін сынама алу әдісі» қолданылды.

Талдау жұмыстары Алматы технологиялық университетінің «Тамақ қауіпсіздігі» ғылыми зерттеу институтының зертханасында жүргізілді. Тәжірибелер 3-4 рет қайталана жасалып, орташа мәндері алынды.

Зерттеу нәтижелері және оны талдау

Нанның негізгі физика-химиялық сапа көрсеткіштері ылғалдылық, кеуектілік және қышқылдық болып табылады.

Ылғалдылық нанның тұтыну қасиеттерінің маңызды көрсеткіші болып табылады. Жоғары ылғалдылық нанның калориясын төмендетеді, нанның сапасын нашарлатады және ағзаға аз сіңеді. Мұндай нан көгеруге бейім, оңай деформацияланады. Нанның төмен ылғалдылығы оның кеуіп кетуіне, тез ескіруіне және дәмінің нашарлауына әкеледі.

Кеуектілік сияқты көрсеткіш нан үшін өте маңызды, өйткені ол нан немесе нан өнімдерінің ағзаға қаншалықты жақсы сіңетінін анықтайды. Нанның кеуектілігі оның сіңімділігімен байланысты. Біркелкі жұқа қабырғалы кеуектілігі бар жақсы борпылдақ нан ас қорыту сөлдерімен жақсы қанығады, сондықтан толық ағзаға сіңеді.

Қышқылдық сонымен қатар нанның сипаттамалары үшін маңызды көрсеткіш болып табылады, өйткені амилазалардың белсенділігін бақылайтын қышқылдық. Қамырдың қышқыл ортасы бар, ол амилазалардың белсенділігін айтарлықтай төмендетеді, бұл өз кезегінде крахмалдың ыдырауына ықпал етеді. Крахмалдың баяу ыдырауы нанның өнімділігін жақсартады. Нанның қышқылдығы әдетте шартты бірліктермен – градуспен көрсетіледі. Қышқылдық дәрежесі 100 г үгіндідегі қышқылдарды және басқа қышқыл қосылыстарды бейтараптандыру үшін қолданылатын күйдіргіш сілтінің 1 мл қалыпты ерітіндісіне сәйкес келеді. Қышқылдық белгілі бір дәрежеде нанның дәмдік қасиеттерін сипаттайды. Жеткіліксіз немесе тым қышқылдық нанның дәмін жағымсыз етеді. Нан өнімдерінің қышқылдығы ұнның түріне, қамырды дайындау әдісіне байланысты.

Ұнның сұрыпы төмендеген сайын қышқылдық жоғарылайды (Ковалева және т.б., 2020; Конева және т.б., 2019; Алёхина және т.б., 2021).

Физика-химиялық көрсеткіштерді анықтау нан дайын болғаннан кейін 3 сағаттан кейін жүргізілді. Талдау жүргізу нәтижесінде алынған нан үлгілерінің физика-химиялық сапа көрсеткіштері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Нан үлгілерінің физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	НҚ бойынша МЕМСТ 31805-2018	Қоспасыз нан	Ұйытқы қосылып ашытылған нан
Ылғалдылық, %	19-52	45	45,1
Қышқылдылық, градустан көп емес	4,0	3,2	3,5
Кеуектілік, %, кем емес	65	69,0	71,2

Нанның сапалық сипаттамалары сүтқышқылды бактериялардың дақылдарынан тұратын ұйытқы қосылғанда айтарлықтай жақсарады. Ұйытқы қосу нанның қышқылдығына өзгерістер туғызды, ұйытқы қосылғанда қышқылдылық 0,3 градусқа жоғарылады. Ұйытқы пайдаланып дайындалған нан ашытқыға қарағанда жоғары қышқылдыққа ие болады, бұл өз кезегінде өнімнің сапасына оң әсер етеді. Осы қасиетінің арқасында ұйытқы қосылған нан балғындығын, дәмін және хош иісін ұзағырақ сақтай алады.

Барлық үлгілердегі кеуектілік қалыпты шектерде болды, нанның кеуектілік көрсеткіші 69-71,2% аралығында болады. Ылғалдылықта айтарлықтай айырмашылық болмады.

Азық-түлік қауіпсіздігі соңғы жылдары мемлекет арасында күрделі пікірталас тақырыбына айналды. Өндірістің қарқынды өсуі және өнім ассортиментінің кеңеюі тұтынушыларға азық-түлік өндірісінің және оларды өткізудің барлық кезеңдерінде қауіпсіздік пен жоғары сапа кепілдігін қажет ететіндігіне әкелді.

Ауыр металдар барлық табиғи ортада бақылануы тиіс басым ластаушы заттар болып табылады. Ауыр металдар өсімдік және жануар текті тағамдық шикізатта, тамақ өнімдерінде болуы мүмкін. Соның салдарынан адам тағамына түсіп, денсаулығына кері әсерін тигізеді (Берсенева, 2018).

Металдар мен металлорганикалық қосылыстар (металлдардың ең улы түрі) табиғи ортаны, оның ішінде судан, топырақтан және өсімдіктерден, сондай-ақ металл аэрозольдері түрінде ауадан түсетін биологиялық орталар ластаушы заттардың қатарына жатады. Адам үшін қауіпті концентрациядағы улы элементтер тамақ өнімдеріне тек шикізаттан ғана емес, сонымен қатар технологиялық өңдеу кезінде – тиісті технологиялық нұсқауларды бұзған жағдайда түсуі мүмкін.

ФАО/ДДҰ (Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы/ Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы) Бірлескен Азық-түлік кодексі комиссиясы халықаралық азық-түлік саудасында бақыланытын ингредиенттер қатарына сынап, қорғасын, кадмий, мышьяк, мыс, қалайы, мырыш және темірді қосты. Алғашқы үшеуі ең үлкен қауіп төндіреді. Бұл металдардың иондары жақсы

кешен түзуші болып табылады, сондықтан биологиялық белсенді орталықтармен күшті байланыс түзуге қабілетті. Сонымен бірге олар табиғи иондарды ығыстырып, металлоферменттерді тежейді. Нәтижесінде ағзада көптеген бұзылулар пайда болады – жасуша мембраналарының өткізгіштігі өзгереді, ақуыз синтезі баяулайды, энергия алмасу процестері бұзылады. Басқа улы металдар тірі ағзада екі жақты рөл атқарады. Аз мөлшерде олар тіршілікке қажетті процестердің қалыпты барысын реттейтін биологиялық белсенді заттардың бөлігі болып табылады, бірақ жоғары дозада олар токсикалық әсерге ие болады.

Бұл жұмыста нан үлгілері қауіптіліктің 1-классына жатқызылған мынадай ауыр металдарға зерттелді: сынап, қорғасын, кадмий, мышьяк. Нан үлгілеріндегі ауыр металдар құрамын зерттеу нәтижелері 2-кестеде берілген.

Кесте 2. Нан үлгілері құрамындағы ауыр металдар

Металл	Рұқсат етілген деңгей, мг/кг, артық емес	Ұйытқы қосылып ашылған нан
Сынап, мг/кг	0,015	0,007
Қорғасын, мг/кг	0,35	0,05
Кадмий, мг/кг	0,07	0,01
Мышьяк, мг/кг	0,15	0,03

Химиялық-токсикологиялық талдау кезінде нан үлгілерінде сынап (0,007 мг/кг), қорғасын (0,05 мг/кг), кадмий (0,01 мг/кг), мышьяк (0,03 мг/кг) қосылыстарының аздаған мөлшері табылды, бірақ олардың мөлшері рұқсат етілген деңгейде болды.

Тамақтан радионуклидтер түсу әсіресе адамдар үшін қауіпті, өйткені бұл ағзаның ішкі сәулеленуіне әкеледі. Ішкі әсер сыртқы әсерге қарағанда қауіпті, өйткені ол өмірлік маңызды мүшелерге тікелей әсер етеді. Ең радиосезімтал жасушалар сүйек кемігі, жыныс бездері, көкбауыр және т.б. үнемі жаңарып отыратын тіндер мен мүшелердің жасушалары болып табылады. Бұл сәулеленудің салдарынан иммундық механизмдердің тежелуі мен жұқпалы аурулардың қоздырғыштарына сезімталдықтың жоғарылауы болуы мүмкін.

Қазіргі уақытта адам ағзасы үшін техногенді ұзақ өмір сүретін ең қауіпті радионуклидтерге цезий-137 және стронций-90 жатады, олардың жартылай шығарылу кезеңі шамамен 30 жыл. Осы екі изотоптар СанЕжН 2.3.2.1078-01. сәйкес тамақ өнімдерінде міндетті түрде тексеруге жатады.

Нан үлгілері құрамындағы радионуклидтер мөлшері төмендегі 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3. Нан үлгілері құрамындағы радионуклидтер

Радионуклидтер	Рұқсат етілген деңгей, Бк/кг(л), артық емес	Ұйытқы қосылып ашылған нан
Цезий -137, Бк/кг(л)	40	19,69
Стронций -90, Бк/кг(л)	20	6,9

Талдау нәтижелерінен зерттелетін нан үлгілеріндегі радионуклидтердің белсенділік көрсеткіштері радиациялық қауіпсіздік талаптарына сәйкес келеді.

Нан дайындау кезінде жалпы санитарлық-гигиеналық шаралар сақталса, өнім СанЕЖТ 2.3.2.1078-01 тағамдық шикізат пен азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігіне қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер мен алынған мәліметтер негізіне сүйеніп отырып сүтқышқылды бактериялардың дақылдарынан тұратын ұйытқы қосу нан үлгілерінің физика-химиялық сапа көрсеткіштеріне оң әсер етеді деп қорытындылауға болады. Зерттелетін нан үлгілеріндегі ауыр металдардың концентрациясы мен радионуклидтер шекті рұқсат етілген концентрациядан аспады.

Әдебиеттер

Алёхина Н.Н. (2021) Разработка технологии хлеба функционального назначения на основе зерновой хлебопекарной смеси //Вестник Мурманского государственного технического университета. — 24(3) — 245–258. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-3-245-258>. (in Rus).

Берсенева М.Л. (2018) Содержание некоторых тяжелых металлов в зерне пшеницы //Вестник Красноярского государственного аграрного университета — 2 (137) — 266–272. (in Rus).

Буренкова С.А., Пчелинцева О.Н. (2023) Разработка рецептуры хлебобулочных изделий с добавлением растительного компонента: муки из семян подорожника // Инновационная техника и технология. — 10(1). — 13–18. <https://itit58.ru/index.php/itit/article/view/473> (in Rus).

Грязина Ф.И. (2022) Производство булочных изделий с применением молочной сыворотки и сметаны //Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. — 111–114. https://elibrary.ru/download/elibrary_48449072_63737924.pdf (in Rus).

Давыденко Н.И. Голуб О.В., Бурштыкова Т.Ю., Сафьянов Д.А. (2013) Разработка и исследование показателей качества хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности //Техника и технология пищевых производств. — 2(29). — 7–11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-pokazateley-kachestva-hlebobulochnyh-izdeliy-povyshennoy-pischevoy-tsennosti> (дата обращения: 26.07.2024). (in Rus).

Kang W., Lin, H., Jiang H., Yao-Say Solomon Adade S., Xue Z., & Chen Q. (2021). Advanced applications of chemo-responsive dyes based odor imaging technology for fast sensing food quality and safety: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. — 20(5) — 5145–5172. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12823> (in Eng).

Ковалева А.Е. и др. (2020) Оценка показателей качества хлеба пшеничного, обогащенного вторичным яблочным сырьем //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 3(85). — 200–207. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-200-206 (in Rus).

Конева С.И. и др. (2019) Влияние льняной муки на реологические свойства теста из смеси пшеничной и льняной муки и качество хлеба //Техника и технология пищевых производств. — 49(1) — 85–96. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96> (in Rus).

Kubicová Ľubica, Predanociová K., Kádeková Z., & Košičiarová I. (2020). Slovak consumers' perception of bakery products and their offer in retails. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. — 14 — 24–32. <https://doi.org/10.5219/1240> (in Eng).

Mudau M., Ramashia S. E., Mashau M. E., & Silungwe H. (2021). Physicochemical characteristics of bread partially substituted with finger millet (Eleusine corocana) flour. *Brazilian Journal of Food Technology*. — 24 — e2020123. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12320> (in Eng).

Mantzourani I., Plessas, S., Odatzidou M., Alexopoulos A., Galanis A., Bezirtzoglou E., & Bekatorou A. (2019). Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality. *Food chemistry*. — 271 — 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.183>

Papchenko V., Matveeva T., Bochkarev S., Belinska A., Kunitsia E., Chernukha A., & Shcherbak S. (2020). Development of amino acid balanced food systems based on wheat flour and oilseed meal. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. — 3(11-105) — 66-76. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.203664 (in Eng).

Peltomaa R., Benito-Peña E., Gorris H.H., & Moreno-Bondi M.C. (2021). Biosensing based on upconversion nanoparticles for food quality and safety applications. *Analyst*. — 146(1) — 13-32. DOI: 10.1039/D0AN01883J (in Eng).

Ruiz-Capillas C., Herrero A. M. (2019) Impact of biogenic amines on food quality and safety // *Foods*. — 8(2) — 62. <https://doi.org/10.3390/foods8020062> (in Eng).

Романова Н.В. (2020) Производство хлебобулочных изделий с профилактическими свойствами // *Модернизация аграрного образования*. — 239-242. — https://elibrary.ru/download/elibrary_44864685_38300454.pdf (in Rus).

Cavallo N., De Angelis M., Calasso M., Quinto M., Mentana A., Minervini F., & Gobetti M. (2017). Microbial cell-free extracts affect the biochemical characteristics and sensorial quality of sourdough bread. *Food Chemistry*. — 237 — 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.089>

Tolve R. et al. (2021) Wheat bread fortification by grape pomace powder: Nutritional, technological, antioxidant, and sensory properties // *Foods* — 10(1) — 75. — <https://doi.org/10.3390/foods10010075> (in Eng).

Хамидулина Х.Х., Тарасова Е.В., Ринчиндоржиева Е.А., Проскурина А.С., Егиазарян А.Р., Замкова И.В., Дорофеева Е.В., Швыкина С.А., Рабикова Д.Н., Николаева Н.И., Филин А.С., Лебедева Д.А. (2021) Актуальные вопросы регулирования содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в продуктах питания // *Токсикологический вестник*. — 1(1) — 2-13. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-1-2-13> (in Rus).

Xiao Y., Huang, L., Chen Y., Zhang S., Rui X., & Dong M. (2016). Comparative study of the effects of fermented and non-fermented chickpea flour addition on quality and antioxidant properties of wheat bread. *CYTA: Journal of Food*. — 14(4) — 621-631. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1188157> (in Eng).

Shao P., Liu L., Yu J., Lin Y., Gao H., Chen H., & Sun P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science & Technology*. — 118 — 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.012> (in Eng).

References

Alekhina N.N. (2021) Development of a technology for functional bread based on a grain baking mix // *Bulletin of the Murmansk State Technical University*. - 24 (3) — 245-258. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-3-245-258>. (in Rus).

Berseneva M.L. (2018) The content of some heavy metals in wheat grain // *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University* - 2 (137) — 266-272. (in Rus).

Burenkova S.A., Pchelintseva O.N. (2023) Development of a recipe for bakery products with the addition of a plant component: plantain seed flour // *Innovative technology and equipment*. — 10(1). — 13-18. <https://itit58.ru/index.php/itit/article/view/473> (in Rus).

Gryazina F. I. (2022) Production of bakery products using whey and sour cream // *Current issues in improving the technology of production and processing of agricultural products*. — 111-114. https://elibrary.ru/download/elibrary_48449072_63737924.pdf (in Rus).

Davydenko N. I. Golub O. V., Burshtykova T. Yu., Safyanov D. A. (2013) Development and study of quality indicators of bakery products of increased nutritional value // *Equipment and technology of food production*. — 2(29). — 7-11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-pokazateley-kachestva-hlebobulochnyh-izdeliy-povyshennoy-pischevoy-tsennosti> (date of access: 26.07.2024). (in Rus).

Kang W., Lin, H., Jiang H., Yao-Say Solomon Adade S., Xue Z., & Chen Q. (2021). Advanced applications of chemo-responsive dyes based odor imaging technology for fast sensing food quality and safety: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. — 20(5) — 5145-5172. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12823> (in Eng).

Kovaleva A.E. et al. (2020) Evaluation of quality indicators of wheat bread enriched with secondary

apple raw materials // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. - 3 (85). - 200–207. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-200-206 (in Rus).

Koneva S.I. et al. (2019) Influence of flaxseed flour on the rheological properties of dough from a mixture of wheat and flaxseed flour and bread quality // Food production engineering and technology. - 49 (1) - 85–96. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96> (in Rus).

Kubicová Lubica, Predanociová K., Kádeková Z., & Košíčiarová I. (2020). Slovak consumers' perception of bakery products and their offer in retails. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. — 14 — 24–32. <https://doi.org/10.5219/1240> (in Eng).

Mudau M., Ramashia S. E., Mashau M. E., & Silungwe H. (2021). Physicochemical characteristics of bread partially substituted with finger millet (*Eleusine corocana*) flour. *Brazilian Journal of Food Technology*. — 24 — e2020123. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12320> (in Eng).

Mantzourani I., Plessas, S., Odatzidou M., Alexopoulos A., Galanis A., Bezirtzoglou E., & Bekatorou A. (2019). Effect of a novel *Lactobacillus paracasei* starter on sourdough bread quality. *Food chemistry*. — 271 — 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.183>

Papchenko V., Matveeva T., Bochkarev S., Belinska A., Kunitsia E., Chernukha A., & Shcherbak S. (2020). Development of amino acid balanced food systems based on wheat flour and oilseed meal. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. — 3(11-105) — 66-76. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.203664 (in Eng).

Peltomaa R., Benito-Peña E., Gorris H.H., & Moreno-Bondi M.C. (2021). Biosensing based on upconversion nanoparticles for food quality and safety applications. *Analyst*. — 146(1) — 13–32. DOI: 10.1039/D0AN01883J (in Eng).

Ruiz-Capillas C., Herrero A. M. (2019) Impact of biogenic amines on food quality and safety // *Foods*. — 8(2) — 62. <https://doi.org/10.3390/foods8020062> (in Eng).

Romanova N.V. (2020) Production of bakery products with preventive properties // Modernization of agricultural education. - 239-242. - https://elibrary.ru/download/elibrary_44864685_38300454.pdf (in Rus).

Cavallo N., De Angelis M., Calasso M., Quinto M., Mentana A., Minervini F., & Gobbetti M. (2017). Microbial cell-free extracts affect the biochemical characteristics and sensorial quality of sourdough bread. *Food Chemistry*. — 237 — 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.089>

Tolve R. et al. (2021) Wheat bread fortification by grape pomace powder: Nutritional, technological, antioxidant, and sensory properties // *Foods* — 10(1) — 75. — <https://doi.org/10.3390/foods10010075> (in Eng).

Khamidulina H.H., Tarasova E.V., Rinchindorzhieva E.A., Proskurina A.S., Egiazaryan A.R., Zamkova I.V., Dorofeeva E.V., Shvykina S.A., Rabikova D.N., Nikolaeva N.I., Filin A.S., Lebedeva D.A. (2021) Actual issues of regulating the content of lead, cadmium, mercury and arsenic in food products // *Toxicological Bulletin*. - 1 (1) - 2–13. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2021-1-2-13> (in Rus).

Xiao Y., Huang, L., Chen Y., Zhang S., Rui X., & Dong M. (2016). Comparative study of the effects of fermented and non-fermented chickpea flour addition on quality and antioxidant properties of wheat bread. *CYTA: Journal of Food*. — 14(4) — 621–631. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1188157> (in Eng).

Shao P., Liu L., Yu J., Lin Y., Gao H., Chen H., & Sun P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science & Technology*. — 118 — 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.012> (in Eng).

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

Volume 4. Number 352 (2024), 146–156

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.315>

УДК 541.132/49

**T.K. Jumadilov^{1,2}, G.T. Dyussebayeva^{1,2}, Zh.S. Mukatayeva²
J.V. Gražulevicius³, 2024.**

¹A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan;

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

³Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.

E-mail: g_gazinovna@mail.ru

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL AND CONFORMATIONAL PROPERTIES OF INTERPOLYMER SYSTEMS OF CATIONITE KU-2-8 AND ANIONITE P4VP

Jumadilov Talkybek Kozhatayevich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan, E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Dyussebayeva Gulnur Toktagazinovna – PhD student, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: g_gazinovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2721-997X>;

Mukatayeva Zhazira Sagatbekovna – Candidate of Chemical Sciences, associated Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: jazira-1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1584-5810>;

Gražulevicius Juozas Vidas – Full professor, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt, <https://orcid.org/0000-0002-4408-9727>.

Abstract. As a result of remote interaction, changes in the electrochemical and conformational properties of the interpolymer system KU-2-8:P4VP were studied. Interpolymer systems consisting of KU-2-8 (cationite) and P4VP (anionite) were chosen as objects of study. As a result of remote interaction of the studied polymers, it was found that their mutual activation leads to a significant change in their electrochemical and conformational properties. During the experiment, the polymers KU-2-8:P4VP in the ratio of 5:1 showed the lowest values of specific conductivity, since the process of proton association prevailed over the process of dissociation of carboxyl groups. At different time intervals (1, 2.5, 6 and 24 hours), the pH value of the interpolymer system KU-2-8:P4VP underwent significant changes. In the 5:1 ratio, the hydrogen indicator increased slightly after 2.5 hours and then decreased again, resulting in a deviation from the overall pH trend. This suggests that a more complex chemical process may have occurred at the beginning of the experiment. The highest conductivity values were determined in the 4:2 ratio of the interpolymer systems. As a result of remote interaction at a distance, the conductivity value in the aqueous medium at the 4:2 ratio increased to a maximum point of 5.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ within 6 h. The pH of the medium decreased to 4.8 after a day compared to the initial level at this ratio, this change is explained by the

distribution of intermolecular bonds. In aqueous media, when the main anionite is P4VP in the ratio of 4:2, the degree of swelling reaches a maximum value of 5.45 after 6 hours. In the ratios of 3:3 and 1:5 no areas of change in electrical conductivity were observed. According to the results obtained, certain changes in specific conductivity, pH of the medium and swelling ratio are observed in all molar ratios of polymers. The result of the study revealed that the change in the polymer pairs and state in the interpolymer system affects the specific electrical conductivity. These data showed that the ratio of ionized and dissociated groups in the interpolymer chain varies normally.

Keywords: ion exchangers, interpolymer system, cationite KU-2-8, anionite P4VP, specific conductivity, pH value, swelling coefficient, range effect, activation

©Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева²,
Ю.В. Гражулявичюс³, 2024.

¹«Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ,
Алматы, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва.

E-mail: g_gazinovna@mail.ru

КАТИОНИТ КУ-2-8 ЖӘНЕ АНИОНИТ П4ВП ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНФОРМАЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Джумадилов Талкыбек Қожатаевич – Химия ғылымдарының докторы, профессор «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан, E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна – PhD докторант, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: g_gazinovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2721-997X>;

Мукатаева Жазира Сағатбековна – Химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: jazira-1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1584-5810>;

Гражулявичюс Юозас Видас – Химия ғылымдарының докторы, профессор, Каунас технологиялық университеті, Каунас, Литва; E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt, <https://orcid.org/0000-0002-4408-9727>;

Аннотация. КУ-2-8:П4ВП интерполимерлік жүйесінің қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде электрохимиялық және конформациялық қасиеттерінің өзгерістері зерттелді. Бұл жұмыста КУ-2-8 (катионалмастырғыш) және П4ВП (анион алмастырғыш) тұратын интерполимерлі жүйелер зерттеу объектісі ретінде таңдап алынды. Зерттелетін полимерлердің қашықтықтан өзара әрекеттесуі нәтижесінде олардың өзара активтенуі электрохимиялық және конформациялық қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруіне әкелетіні анықталды. Тәжірибие барысында КУ-2-8:П4ВП полимерлерінің 5:1 қатынасында меншікті электрөткізгіштік көрсеткіштері ең төменгі мәнге ие болды, өйткені протондардың бірігу процесі, карбоксил топтардың

диссоциация процесіне қарағанда басым болды. Әр түрлі уақыт аралықтарында (1, 2.5, 6 және 24 сағат) КУ-2-8:П4ВП интерполимерлік жүйесінің рН шамасы үлкен өзгерістерді көрсетті. 5:1 қатынасында сутектік көрсеткіш 2.5 сағатта біршама жоғарылап, қайта төмендеген, мұнда рН жалпы тенденциядан ауытқу байқалады, ал ісіну коэффициентінде полимер бөлшектерінің өлшемдері сулы ортада қозғала алмай аса қатты өзгеріске ұшырамағаны байқалады. Бұл тәжірбиенің басында күрделірек химиялық процестің болуы мүмкін екенін көрсетеді. Интерполимерлі жүйелердің 4:2 қатынасында ең жоғарғы электрөткізгіштік мәндері анықталды. Қашықтықтан өзара әрекеттесу нәтижесінде 4:2 қатынасында сулы ортадағы электрөткізгіштік мәні 6 сағат ішінде 5.5мкСм/См ең жоғарғы нүктесіне көтерілген. Ортаның рН көрсеткіші осы қатынаста бастапқы деңгеймен салыстырғанда бір тәуліктен кейін 4.8-ге дейін төмендеді, бұл өзгеріс молекула аралық байланыстар таралуымен түсіндіріледі. Сулы ортада негізгі анионит П4ВП болғанда 4:2 қатынасында 6 сағаттан кейін ісіну дәрежесі 5.45 максимум мәніне жетті. 3:3 және 1:5 қатынастарында электрөткізгіштік мәнінде ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмады. Алынған зерттеулердің көрсеткіштеріне сүйенсек, полимерлердің барлық мольдік қатынастарында меншікті электрөткізгіштіктің, рН ортасының және ісіну коэффициентінің біршама өзгерістері байқалған. Зерттеу нәтижесінде интерполимерлі жүйедегі полимерлердің жұптары мен күйін өзгерту, меншікті электрөткізгіштікке әсер ететіндігі анықталды. Бұл мәліметтер буынаралық тізбек бойындағы ионданған және диссоциацияланған топтардың ара қатынасының қалыпты өзгеретінін көрсетті.

Түйін сөздер: ионалмастырғыштар, интерполимерлік жүйе, катионит КУ-2-8, анионит П4ВП, меншікті электрөткізгіштік, рН көрсеткіші, ісіну дәрежесі, қашықтан өзара әрекеттесу, активация.

**Т.К. Джумадилов^{1,2}, Г.Т. Дюсембаева^{1,2}, Ж.С. Мукатаева²,
Ю.В. Гражулявичюс³, 2024.**

¹АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан;

³Каунасский технологический университет, Каунас, Литва.

E-mail: g_gazinovna@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И КОНФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ КАТИОНИТА КУ-2-8 И АНИОНИТА П4ВП

Джумадилов Талқыбек Қожатаевич – Доктор химических наук, профессор АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан, E-mail: jumadilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9505-3719>;

Дюсембаева Гульнур Токтаргазиновна – PhD докторант, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан, E-mail: g_gazinovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2721-997X>;

Мукатаева Жазира Сагатбековна – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан, E-mail: jazira-1974@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1584-5810>;

Гражулявичюс Юозас Видас – Доктор химических наук, профессор, Каунасский технологический университет, Каунас, Литва, E-mail: juozas.grazulevicius@ktu.lt, <https://orcid.org/0000-0002-4408-9727>.

Аннотация. В результате дистанционного взаимодействия были изучены изменения электрохимических и конформационных свойств интерполимерной системы КУ-2-8:П4ВП. В качестве объектов исследования были выбраны интерполимерные системы, состоящие из КУ-2-8 (катионит) и П4ВП (анионит). В результате дистанционного взаимодействия исследованных полимеров установлено, что их взаимная активация приводит к значительному изменению их электрохимических и конформационных свойств. В ходе эксперимента полимеры КУ-2-8: П4ВП в соотношении 5:1 показали самые низкие значения удельной электропроводности, поскольку процесс объединения протонов преобладал над процессом диссоциации карбоксильных групп. В разные промежутки времени (1, 2.5, 6 и 24 часа) значение рН интерполимерной системы КУ-2-8: П4ВП претерпело значительные изменения. В соотношении 5:1 показатель водорода незначительно увеличивается через 2.5 часа, а затем снова снижается, что приводит к отклонению от общего тренда рН. Это говорит о том, что в начале эксперимента мог происходить более сложный химический процесс. Наибольшие значения электропроводности были определены в соотношении интерполимерных систем 4:2. В результате дистанционного взаимодействия на расстоянии значение проводимости в водной среде при соотношении 4:2 увеличилось до максимальной точки 5.5 мкСм/см в течении 6 часов. рН среда через сутки снизилась до 4.8 по сравнению с исходным уровнем в этом соотношении, такое изменение объясняется распределением межмолекулярных связей. В водных средах, когда основным анионитом является П4ВП в соотношении 4:2, степень набухания достигает максимального значения 5.45 через 6 часов. В соотношениях 3:3 и 1:5 областей изменения электропроводности не наблюдалось. По результатам полученных исследований определенные изменения удельной электропроводности, рН среды и коэффициента набухания наблюдаются во всех мольных соотношениях полимеров. В результате исследования установлено, что изменение пар и состояния полимеров в интерполимерной системе влияет на удельную электропроводность. Эти данные показали, что соотношение ионизированных и диссоциированных групп в межпоколенческой цепочке изменяется в норме.

Ключевые слова: ионообменники, интерполимерная система, катионит КУ-2-8, анионит П4ВП, удельная электропроводность, показатель рН, коэффициент набухания, эффект дальнего действия, активация.

Кіріспе. Қазіргі таңда кеңінен қолданылатын ион алмастырғыш шайырлардың өнеркәсіптік қолданылуы шектеулі, себебі синтетикалық ион алмастырғыштардың әр түрлі иондары бар технологиялық ерітінділердегі тиімділігі мен селективтілігі төмен (Lee, et al, 2020; Muhammad, et al, 2018). Ион алмастырғыштар – бұл ерімейтін,

қатты полимерлер, электролит ерітінділерінде және органикалық еріткіштерде белгілі бір дәрежеде ісінеді (Smolinska, et al, 2020). Ион алмастырғыш шайырлар әртүрлі бөлу, тазарту және дезинфекциялау процестерінде кеңінен қолданылады (Luigi, et al, 2020). Ион алмастырғыш шайырлар суда ісінуге қабілетті, бұл гидратацияға жарамды гидрофильді тұрақталған топтардың болуына байланысты. Дегенмен, шексіз ісінуге көлденең байланыстар арқылы кедергі жасалады (Ouyen, et al, 2020; Shalla, et al, 2019). Интерполимерлік жүйелерді зерттеуге арналған жұмыстар полимерлердің өзара активтенуі электрохимиялық, көлемдік гравиметриялық қасиеттерінің өзгеруіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті (Jumadilov, et al, 2023). Интерполимерлік жүйелер- бұл кемінде екі полимерден құрылған және ортақ еріткіші бар көпкомпонентті жүйе. Интерполимерлік жүйелер меншікті электрөткізгіштік, рН және гравиметрияны өлшеу әдістерімен зерттелді (Utesheva, et al, 2022). Зерттеулердің нәтижесінде алынған деректер полимерлердің қашықтықтан әрекеттесуі нәтижесінде олардың электрохимиялық және конформациялық қасиеттерінің айтарлықтай өзгеруіне әкелетін өзара активтенуі орын алатыны анықталды (Jumadilov, et al, 2021). Оған себеп екі полимерде де иондалған топтардың қосымша тығыздығы қалыптасады. Бұл тығыздық активтелмеген полимерлердің тығыздығынан әлдеқайда жоғары болады (Jumadilov, et al, 2023). Осыған байланысты бұл жұмыстың басты мақсаты макромолекулалық сорбенттер ретінде кеңінен қолданылатын өнеркәсіптік ионалмастырғыш шайырлар катионит КУ-2-8 және анионит П4ВП интерполимерлі жүйесінің өзара активтелу ерекшеліктерін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер (Тәжірбиелік бөлім)

Электрохимиялық зерттеулер: Электр өткізгіштігін анықтау үшін кондуктометр Expert 002 (Эконикс-сарапшы, Мәскеу, Ресей Федерациясы) қолданылды. рН мәндерін өлшеу үшін 827 рН-Lab (Metrohm, Herizau, Швейцария) жүргізілді. Ісіну коэффициентін (Кі) есептеу үшін, ісінген полимерлер үлгілерінің массасы SHIMADZU AY220 электронды аналитикалық таразысында (Жапония) өлшенді.

Зерттеу материалдары: КУ-2-8 (H^+ формасы) ион алмастырғыш шайыр, сыйымдылығы жоғары, күшті қышқыл сорбент және П4ВП (OH^- формасы) поли-4-винилпиридинді гидрогель. Аталған иониттер негізінде мольдік қатынастары әртүрлі интерполимерлі жүйелер құрылды. Зерттеу жұмыстары тазартылған суда қалыпты бөлме температурасында жүргізілді. Сулы ерітіндінің электрохимиялық өзгерістері (меншікті электрөткізгіштік, рН) әр түрлі уақыт интервалында өлшенді. Ісіну коэффициентін бос бюкс салмағын полимер салынған бюкс салмағынан шегеру арқылы есептелінді.

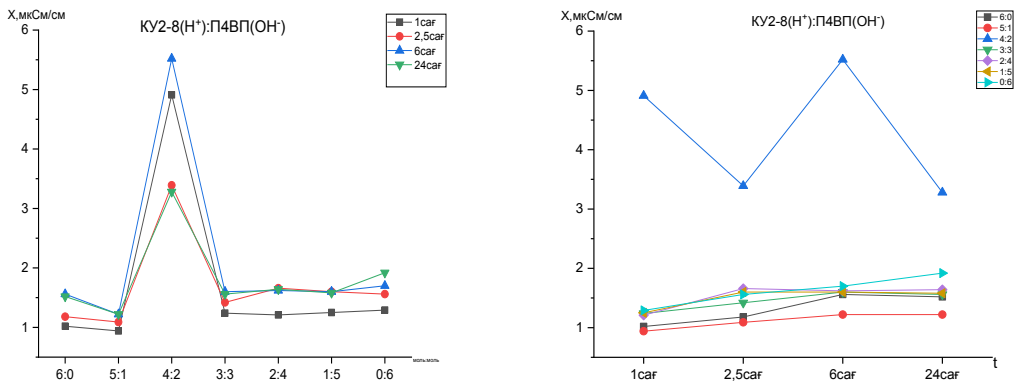
Нәтижелер және оларды талқылау.

Бұл мақалада зерттеу жұмысының мақсаты – интерполимерлік жүйедегі компоненттердің өзара активтену өзгерісін анықтау болғандықтан, біз осы полимерлердің, яғни катионит (КУ-2-8) және анионит (П4ВП) электрохимиялық қасиеттерін кондуктометрлік, рН метрлік әдістермен қарастырдық. КУ-2-8:П4ВП

интерполимерлі жүйесінің меншікті электрөткізгіштігінің сулы ортада уақыт пен полимерлердің мольдік қатынастарына байланысты өзгеріс аймақтары зерттеліп, сипатталды.

Бұрынғы жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде полимерлер электрохимиялық және көлемдік-гидродинамикалық қасиеттерін өзгерте отырып, әртүрлі мольдік қатынастарда бір-бірімен қашықтықтан әрекеттесетіні анықталған болатын (Jumadilov, et al, 2023). Полимерлердің электрохимиялық қасиеттерін зерттеу қашықтықтан әрекет ету кезінде полимерлік құрылымдардың жоғары ионизацияланған аудандарының пайда болуын болжауға мүмкіндік береді. Сулы ортада интерполимерлі жүйелердің болуы ерітіндінің электрохимиялық тепе-теңдігінің өзгеруіне және түрлі процестердің іске асуына ықпал етеді. КУ-2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінің меншікті электрөткізгіштігінің сулы ортада уақыт пен полимерлердің мольдік қатынастарына байланысты түрленуі 1- суретте бейнеленген. Бұл графикте КУ-2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінің 6:0 қатынасындағы электрөткізгіштік мәндерінің айтарлықтай өзгермейтіндігі байқалады, оның себебі ерітіндіде тек бір полимер түрі болған кезде, ерітіндінің жоғары иондалған күйге түсе алмайтынын білдіреді. Бұл көрсеткіш төменгі электрөткізгіштік мәндерінің пайда болуына әкеледі. Жеке катионит КУ-2-8 қатысында, зерттеудің басында және соңында электрөткізгіштік мәндерінде айырмашылықтар байқалмайды.

Тәжірбие барысында КУ-2-8:П4ВП полимерлерінің 5:1 қатынасында электрөткізгіштік ең төменгі мәнге ие болды, өйткені протондардың бірігу процесі, карбоксил топтардың диссоциация процесіне қарағанда басым болды.



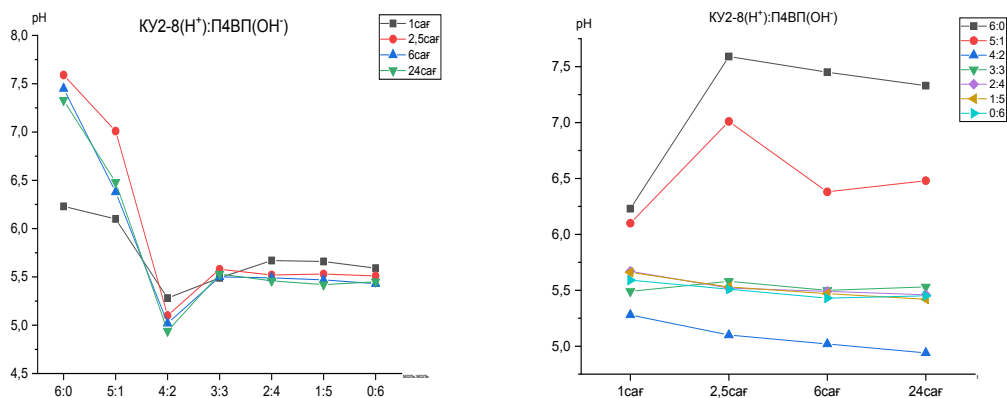
Сурет 1. КУ2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінің меншікті электрөткізгіштік көрсеткіштерінің мольдік қатынастарына және уақытқа байланысты өзгерісі

Қашықтықтан өзара әрекеттесу нәтижесінде 4:2 қатынасында сулы ортадағы электрөткізгіштік мәні 6 сағат ішінде 5.5мкСм/См ең жоғарғы нүктесіне көтерілген, бұл полимерлердің бір-біріне қашықтан әсер етуі нәтижесінде, қосымша иондардың пайда болуымен түсіндіріледі. Дәл осы қатынаста барлық уақытта(1, 2.5, 6 және 24 сағат) электрөткізгіштік көрсеткіші максимум мәндерге

ие болды. Көрсетілген қисықта максимум нүктенің болуы, күшті электролиттердің сұйытылған ерітінділерінде иондардың қозғалу жылдамдығы концентрацияға аса тәуелді болмайтынын білдіреді. КУ-2-8:П4ВП интерполимерлік жүйелерінің 4:2 қатынасында электрөткізгіштік көрсеткіштерінде уақытқа байланысты біршама ауытқулар байқалады. Органың электрөткізгіштігі 1 сағаттан соң жоғары мәнгежетіп, 2.5 сағатта төмендеді, ал 6 сағаттан кейін қайта көтерілді, бірақ бір тәулікке жеткенде қайтадан төмендеді.

Жүйеде екі полимердің белгілі бір мольдік қатынасында электрөткізгіштіктің жоғарғы нүктесінің болуы, протонның азот гетероатомына қосылуына гөрі, карбонил топтарының диссоциациясының басымырақ екендігімен түсіндіріледі. Судың электрөткізгіштігі 3:3 және 1:5 қатынастарында әртүрлі уақыт кезеңдерінде тұрақты болды, ешқандай өзгеріс аймақтары байқалмады. 0:6 қатынасында электрөткізгіштік мәндерінде аса көп өзгерістер байқалмайтындығын көруге болады. Сондай-ақ, ерітіндіде тек бір полимер түрі болғанда екінші полимердің болмауы ерітіндінің жоғары зарядталғандәрежеге жетуіне мүмкіндік бермейді, бұл жағдай ерітіндінің қажетті физика-химиялық қасиеттерінеқол жеткізу үшін әртүрлі полимерлер арасындағы өзара әрекеттестіктің маңыздылығын көрсетеді.

2-суретте КУ-2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінің рН шамасының әр түрлі мольдік қатынастары мен уақытқа тәуелділігі көрсетілген. Қашықтықтан өзара әсер ету нәтижесінде КУ-2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінде барлық уақыт кезеңдерінде 6:0 қатынасында 2.5 сағаттан кейін ортаның рН мәні максимумға 7.65-ке дейін көтерілген. Әр түрлі уақыт аралықтарында (1; 2.5; 6 және 24 сағат) КУ-2-8:П4ВП интерполимерлік жүйесінің рН шамасы үлкен өзгерістерді көрсетті. Уақытқа байланысты өзгерістер 6:0 қатынасында 1 сағатта 6.2-ге төмендегеннен кейін, 2.5 сағаттан соң бірден көтерілді.



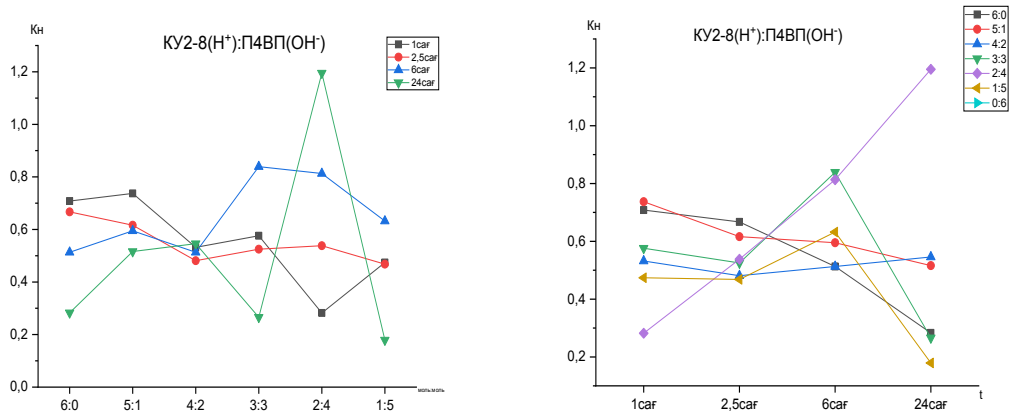
Сурет 2. КУ2-8:П4ВП интерполимерлі жүйесінің рН ортасының мольдік қатынастарына және уақытқа байланысты өзгерісі

5:1 қатынасында сутектік көрсеткіш 2.5 сағатта біршама жоғарылап, қайта төмендеген, мұнда рН жалпы тенденциядан ауытқу байқалады. Бұл тәжірибенің

басында күрделірек химиялық процестің болуы мүмкін екенін көрсетеді. Бұл кезде полимер тізбектерінің диссоциациялануымен байланысты әсерлер ортаның рН-на толық әсер етпеуі немесе ерітіндінің рН-ын уақытша тұрақтандыратын ион алмасу процесі орын алғандығын болжауға болады. Жүйеде сулы ортаның рН мәні гидроксил иондарының санының басым екенін көрсетеді. Бұл құбылыс азот атомының су молекуласымен әрекеттесуі нәтижесінде сулы ерітіндіге гидроксил иондарының бөлінуі мен басқа реакциялардың әсерінен болуы мүмкін.

Ортаның рН көрсеткіші 4:2 қатынасында бастапқы деңгеймен салыстырғанда бір тәуліктен кейін 4.8-ге дейін төмендеді, бұл өзгеріс молекула аралық байланыстар таралуымен түсіндіріледі. Уақыт өткен сайын полимерлердің барлық қатынасында дерлік рН мәнінің төмендегені және сутек иондарының концентрациясының артқаны байқалады. Бұл құбылыс П4ВП гидрогелінің амин топтарының протондануымен және сулы ортадағы еркін протондар концентрациясының жоғарлауымен түсіндіріледі. рН мәнінің төмендеуі ерітіндінің қышқылдығының артуына себеп болатын химиялық процестердің пайда болуын білдіреді. Зерттеу барысында 6 және 24 сағаттан кейін полимерлердің 3:3; 2:4 және 1:5 қатынастарында айтарлықтай өзгерістер байқалмаған, рН мәні біртіндеп төмендеген.

3-ші суретте П4ВП қатысында КУ-2-8 ісіну дәрежесінің сулы ортадағы полимерлердің мольдік қатынастарына және уақытқа тәуелді өзгерісі сипатталған. 6:0 қатынасында, яғни ерітіндіде тек катионит КУ-2-8 болғанда, ісіну коэффициенті барлық уақыт аралықтарында салыстырмалы түрде өзгермейді және төмен мәнді көрсетеді, себебі анионит П4ВП болмаған кезде катионит КУ-2-8 суды сіңіру қабілетінің шектеулі екенін көрсетеді.



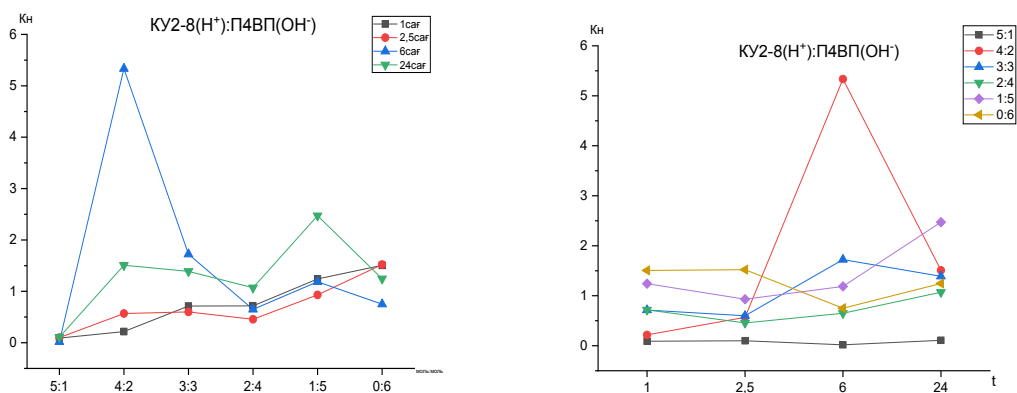
Сурет 3. П4ВП (анион алмастырғыш) қатысында КУ2-8 ісіну коэффициентінің мольдік қатынастарына және уақытқа байланысты өзгерісі

Ісіну байланыстарының айтарлықтай ауытқуы 5:1, 4:2 және 3:3 қатынастарында байқалады. Бұл катион алмастырғыш ретінде КУ-2-8 ион алмастырғыш шайыры, ал анион алмастырғыш ретінде П4ВП арасындағы күрделі өзара әрекеттесуді

көрсетуі мүмкін, бұл полимерлердің құрлымы мен қасиеттерінің өзгеруіне әкеледі, олардың ісіну қабілетіне әсер етеді. Бұл жүйеде тек бір ғана полимер, яғни ерітіндіде тек катионит КУ-2-8 болғанда суды жұту мүмкіндігі төмен болады, оның себебі ісіну дәрежесі көптеген жағдайларда тұрақты және төмен болады. Қашықтықтан әсер ету нәтижесінде 24 сағаттан кейін 2:4 қатынасында ісіну дәрежесі максималды 1.2 мәнге жетіп, ары қарай 1:5 қатынасында күрт төмендеуі байқалады, мұндай өзгерістер полимердің құрлымының қысылуынан туындауы мүмкін.

Суреттен байқағанымыздай полимерлі торлардың ісіну дәрежесі 3:3 қатынасында 6 сағаттан соң жоғарылап, уақыттың ағымына байланысты жүйелі түрде төмендегенін көре аламыз. Себебі, полимерлердің бастапқы кезеңінде ісіну дәрежесі уақытқа байланысты өсіп, қажетті уақытқа келгенде біртіндеп сулы полимер құрлымының қаныққандығын, яғни, ісіну дәрежесінің тұрақталатынын байқаймыз. Полимерлердің ісіну дәрежесі 2:4 және 1:5 қатынас аймақтарында күрт төмендегені байқалады, себебі концентрациясының төмендігіне және негізгі топтардың ісіну жылдамдығының жеткіліксіздігіне байланысты.

4-ші суретте әртүрлі мольдік қатынастарында (5:1; 4:2; 3:3; 2:4; 1:5 және 0:6) П4ВП ісіну дәрежесінің өзгерістері келтірілген.



Сурет 4. КУ-2-8 (катион алмастырғыш) қатысында П4ВП ісіну коэффициентінің мольдік қатынастарына және уақытқа байланысты өзгерісі

Қашықтықтан бір-бірімен әрекеттесу нәтижесінде сулы ортада негізгі анионит П4ВП катионит КУ-2-8 қатысында 4:2 қатынасында 6 сағаттан кейін ісіну дәрежесі ең жоғарғы 5.45 максимум деңгейіне көтерілген. Ал осы қатынаста басқа уақыт аралықтарында ондай белсенділік байқалмайды. 3:3 қатынасында 6 сағатта басқа қатынас аймақтарымен салыстырғанда ісіну коэффициентінің өзгерістері көрінеді. Суреттен барлық уақыт аралықтарында (1; 2.5; 6; 24 сағатта) 5:1 және 2:4 қатынастарында полимер бөлшектерінің өлшемдері сулы ортада қозғала алмай аса қатты өзгеріске ұшырамағаны байқалады, себебі ерітіндіде жаңа иондардың пайда болмағанымен байланысты деп айтуға болады. Сонымен

қатар полимерлердің қашықтықтан өзара әрекеттесу салдарынан бір тәуліктен соң жоғарғы ісіну дәрежесі 1:5 қатынасында байқалған, нәтижесінде жүйенің сіңіру қабілеті әртүрлі уақыт аралықтарында жоғарылайды. Жүйеде тек бір ғана полимер анионит П4ВП болғанда тұрақты қасиетке ие болады, өйткені ісіну дәрежесінде 0:6 қатынасында ешқандай өзгеріс байқалмайды.

Қорытынды.

Сулы ортада КУ-2-8 (катион алмастырғыш) пен П4ВП (анион алмастырғыштың) өзара активтенуінің өзгерістері анықталып, олардың өзгеше зарядталған иондармен бейтарапталмаған иондар түзе отырып өзара қашықтықтан әрекеттесетіндігін көрсетті. Алынған зерттеу қорытындыларынан ортаның меншікті электрөткізгіштігі, рН ортасының және ісіну коэффициентінің біршама өзгерістері талданып, сараптамалар жүргізілді.

Осыған орай, ионалмастырғыштардан тұратын интерполимерлік жүйелер үшін меншікті электрөткізгіштік және рН ортасының өзгерістері бойынша алынған тәжірибелік нәтижелер құрамдастарының бірінің бастапқы күйінің өзгеруі ион алмастырғыштар мен интерполимер жүйелерінің электрохимиялық әрекетін айтарлықтай өзгертетінін көрсетеді, бұл өнеркәсіптік ион алмастырғыштардың қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Бұл өзгерістерге сулы ортаға әр полиэлектролиттен бөлінген төмен молекулалық иондардың өзара әрекеттесуі үлес қосады деп болжам жасалды. Зерттеу нәтижесінде интерполимерлі жүйедегі полимерлердің қашықтықтан әрекеттесуі олардың торап аралық байланыстарының конформациялық өзгерістеріне алып келеді, олар қосымша ісінуге ұшырайды.

Әдебиеттер

Жұмаділов Т.К., Имангазия.М., Химерсен Х., Хапонюк Дж.Т. (2023). Өнеркәсіптік ион алмастырғыштардың скандий сульфаты ерітіндісіндегі электрохимиялық және сорбциялық тепе-теңдікке қашықтықтан әсер етуі. // *Polymer Bulletin*, 81, 1-19.

Жұмаділов Т.К., Тотхусқызы Б., Малимбаева З., Кондауров Р., Имангазы А.М., Химерсен Х., Гразулевичиус Ю.В. (2021). Неодимий Мен Скандий Иондарының Радиустарының IR120 Және АВ-17-8 Амберлитінің Сорбциялық Динамикасына Әсері. // *Материалдар*, 14, 5402.

Жұмаділов Т.К., Ысқақ Л.К., Мырзахметова Н.О. (2023). Церий иондарының ir120 және АВ-17-8 ион-ион алмастырғыш шайырларының негізінде интерполимер жүйесі арқылы сорбциялану ерекшеліктері. // *Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым Академиясының Хабарлары. Химия және технология сериясы*, 1 (454), 37-46.

Lee, J., Kurniawan, Hong, H.J., Chung, K.W., Kim, S. (2020). Платина, палладий және родийді ион алмастырғыш шайырдың көмегімен сулы ерітінділерден бөлу. // *A review. Sep. Purif. Technol.*, 246-248.

Луиджи, Г., Андреа, К., Алессандро, Т., Джорджио, М. (2020). Ағынды суларды тазартуға арналған электродиализ. (Био-) Мембраналардағы қазіргі Тенденциялар және Болашақтағы Даму. // *Elsevier*, 141-192.

Мұхаммед, Р.Х., Найере, Д., Дэвид, Г.Х., Эйми, К., Уильям, М.Г., Майкл, Д.М. (2018). Ылғалды тұрақты және механикалық берік целлюлоза нанопибрилдері (CNF) негізіндегі гидрогель. // *Polymer*, 151, 231-241.

Ойен М.Л. (2023). Гидрогель материалдарының механикалық сипаттамасы. // *International Materials Review*, Vol. 5 No 1. pp. 44–59.

Смолинская-Кемписти, К., Сикерка, А., Бряк, М. (2020). Капмик процесіне арналған интерполимерлі ион алмасу мембраналары. *Тұзсыздандыру*, 482-487.

Шалла, А.Х., Ясин, З., Бхат, М.А., Рангрис, Т.А., Масвальм, М. (2019). Металл иондарын

гидрогельдермен жоюға арналған соңғы шолу. // *Separation Science and Technology*, Vol 54. No 1. pp. 89–100.

Утешева, А.А., Жұмаділов, Т.К., Гразулевичиус, Ж.В. (2022). Уранил иондарына жоғары сорбциялық белсенділігі бар интерполимерлі жүйелердің өзін-өзі ұйымдастыруы. // *Сәтбаев Университетінің инженерлік Журналы*, 144 (2), 22-27.

References

Jumadilov T. K., Imangazy A.M., Khimersen Kh., Haponiuk J.T. (2023). Remote interaction effect of industrial ion exchangers on the electrochemical and sorption equilibrium in scandium sulfate solution. // *Polymer Bulletin*, 81, 1-19.

Jumadilov T. K., Totkhuskyzy B., Malimbayeva Z., Kondaurov R., Imangazy A.M, Khimersen K., Grazulevicius J.V. (2021). Impact of Neodymium and Scandium Ionic Radii on Sorption Dynamics of Amberlite IR120 and AB-17-8 Remote Interaction. // *Materials*, 14, 5402.

Jumadilov T.K., Yskak L.K, Myrzakhmetova N.O. (2023). Features of sorption of cerium ions by the interpolymer system based on amberlite ir120 and ab-17-8 ion-exchange resin. // *News of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series Chemistry and Technology*, 1(454), 37-46.

Lee J., Kurniawan Hong H.J., Chung K.W., Kim S.(2020). Separation of platinum, palladium and rhodium from aqueous solutions using ion exchange resin. // *A review. Sep. Purif. Technol*, 246-248.

Luigi G., Andrea C., Alessandro T., Giorgio M. (2020).Electrodialysis for wastewater treatment. *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes*. // Elsevier, 141-192.

Muhammad R. H., Nayereh D, David G. H., Aimee C., William M. G., Michael D. M. (2018).Wet stable and mechanically robust cellulose nanofibrils (CNF) based hydrogel. *Polymer*, 151, 231-241.

Oyen M. L. (2023). Mechanical characterisation of hydrogel materials. // *International Materials Review*, Vol. 5 No 1. pp. 44–59.

Smolinska-Kempisty K., Siekierka A., Bryjak M. (2020). Interpolymer ion exchange membranes for CapMix process.Desalination, 482-487.

Shalla A. H., Yaseen, Z., Bhat, M. A., Rangreez, T. A., Maswal M.(2019). Recent review for removal of metal ions by hydrogels. // *Separation Science and Technology*, Vol 54. No 1. pp. 89–100.

Utesheva A.A., Jumadilov T.K., Grazulevicius J.V. (2022). Self-organization of interpolymer systems with high sorption activity to uranyl ions. *Engineering Journal of Satbayev University*, 144(2), 22–27.

**V.N. Kryuchkov¹, I.V. Volkova², A.V. Mozharova¹,
L.K. Seidaliyeva³, F.K. Nurbayeva³, K.A. Jumasheva³, 2024.**

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia;

²Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral General F.M. Apraksin – branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia;

³Caspian University of Technology and Engineering named after. Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan.

E-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru

MORPHOLOGY OF THE MESONEPHROS IN CARP UNDER EXPERIMENTAL INTOXICATION

Kryuchkov Viktor Nikolaevich – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: kvn394@rambler.ru;

Volkova Irina Vladimirovna – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematical and Natural Science Disciplines, Caspian Institute of Marine and River Transport named after Gen.-Adm. F.M. Apraksin - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution «VGUVT», Astrakhan, Russia, e-mail: gridasova@mail.ru;

Mozharova Anastasiya Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical and Natural Sciences, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: a.mozharova@astvsuwt.ru;

Seidaliyeva Leila Kamidullaevna – Postgraduate student, Master of Natural Sciences, Assistant Professor of the Department of Ecology and Geology, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenov, Aktau, Kazakhstan, e-mail: leila.seidaliyeva@yu.edu.kz;

Nurbayeva Farida Kuanthanovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Geology, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan, nurbaeva_farida@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4051-0326>;

Jumasheva Kamshat Abilovna – Master of Ecology and Environmental Management, Assistant Professor of the Department of Ecology and Geology, Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yesenova, Aktau, Kazakhstan, e-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0105-787X>.

Abstract. One of the tasks of modern ecology is to study the indicator reactions of hydrobionts in response to external influences in order to further use the knowledge gained in determining the functional state of individuals with emerging pathologies, which makes it possible to assess the adaptive ability of biosystems. The solution of this problem is not possible without studying the structure of organs, their tissues and cells, in particular, kidneys. The aim of the work was to study the development of disorders in the mesonephros of carp during experimental cadmium intoxication. The

object of the study was mongrel carp (*Cyprinus carpio* L.) kept in aquariums with water to which cadmium chloride was added at a concentration of 0.25 mg Cd²⁺/l. Electron microscopic examination showed that the cellular composition of the interstitium was formed mainly by leukocytes, while connective tissue cells and epithelial cells were present. Leukocytes were represented by lymphocytes, neutrophils, macrophages and plasma cells, which should be considered the norm for bony fish. Interstitial changes manifested themselves in the form of circulatory disorders. In individual fish, up to 20% of the renal capsules were wrinkled, protein and blood plasma were observed in their cavities, and capillary loops were clogged with blood elements. Complete capillary atrophy was noted in individual capsules. A decrease in the volume occupied by heterochromatin in the nuclei of interstitial plasma cells was revealed simultaneously with the expansion of the tanks of the granular endoplasmic reticulum, which may probably be due to an increase in their synthetic function resulting from toxic stress. An increase in the number of mitochondria in the epithelial cells of the convoluted tubules was revealed, which indicated an increase in energy requirements. The toxic effect of cadmium on fish manifests itself in the form of significant pathological disorders in the mesonephros, which inevitably also leads to a violation of its function.

Keywords: Volga-Caspian and Ural-Caspian basins, Northern Caspian, cyprinid fish, mesonephros, cadmium

В.Н. Крючков¹, И.В. Волкова², А.В. Можарова¹,

Л.К. Сейдалиева³, Ф.К. Нурбаева³, К.А. Джумашева³, 2024.

¹Астрахан мемлекеттік техникалық университеті, Астрахань, Ресей;

²Ген.- адм. Ф. М. Апраксин атындағы Каспий теңіз және өзен көлігі институты - «ВГУВТ» ФГБОУ филиалы, Астрахань, Ресей;

³Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан.

E-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТТІК ИНТОКСИКАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ ТҰҚЫ МЕЗОНЕФРОСЫНЫҢ МОРФОЛОГИЯСЫ

Крючков Виктор Николаевич – биология ғылымдарының докторы, профессор, гидробиология және жалпы экология кафедрасы, Астрахан мемлекеттік техникалық университеті, Астрахань, Ресей, E-mail: kvn394@rambler.ru;

Волкова Ирина Владимировна – биология ғылымдарының докторы, доцент, гидробиология және жалпы экология кафедрасы, Ген.- адм. Ф.М. Апраксин атындағы Каспий теңіз және өзен көлігі институты - “ВГУВТ” ФГБОУ филиалы, Астрахань, Ресей, e-mail: gridasova@mail.ru;

Можарова Анастасия Владимировна – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, математикалық және жаратылыстану пәндері кафедрасы, Астрахан мемлекеттік техникалық университеті, Астрахань, Ресей, e-mail: a.mozharova@astvsuwt.ru;

Сейдалиева Лейла Камидуллаевна – аспирант, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Экология және геология кафедрасының ассистенті, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан, e-mail: leila.seidaliyeva@yu.edu.kz;

Нурбаева Фарида Қуантхановна – техника ғылымдарының кандидаты, Экология және геология

кафедрасының доценті, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан, e-mail: farida.nurbayeva@yu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-4051-0326>;

Джумашева Камшат Абиловна – экология және табиғатты пайдалану магистрі, Экология және геология кафедрасының ассистенті, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан, e-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0105-787X>.

Аннотация. Қазіргі экологияның міндеттерінің бірі – биожүйелердің бейімделу қабілетін бағалауға мүмкіндік беретін пайда болған патологиялардағы жеке тұлғалардың функционалды жағдайын анықтауда толық білімді одан әрі пайдалану мақсатында сыртқы әсерлерге жауап ретінде гидробионттардың индикаторлық реакцияларын зерттеу. Бұл мәселені шешу үшін органдарды, олардың тіндері мен жасушаларының, атап айтқанда бүйректің құрылымын зерттемеу мүмкін емес. Жұмыстың мақсаты – кадмиймен эксперименттік интоксикация кезінде сазан (тұқы) мезонефросындағы бұзылулардың дамуын зерттеу. Зерттеу нысаны – тұқымсыз тұқы (*Surginus carpio*L.), 0,25 мг Cd²⁺/л концентрациясы бойынша кадмий хлориді қосылған су аквариумдары. Электронды-микроскопиялық зерттеу жасушалық құрамын анықтады интерстиций негізінен лейкоциттер түзді, дәнекер тінінің жасушалары мен эпителиоциттер болды. Лейкоциттер лимфоциттермен, нейтрофилдермен, макрофагтармен және плазмалық жасушалармен ұсынылған, оларды сүйекті балықтар үшін норма деп санау керек. Интерстициальды өзгерістер қан айналымының бұзылуы ретінде көрінді. Жеке балықтарда бүйрек капсулаларының 20%-на дейін мыжылған, олардың қуысында ақуыз, қан плазмасы байқалған, капиллярлық ілмектер қан элементтерімен бітелген. Жеке капсулаларда капиллярлардың толық атрофиясы байқалды. Плазмалық жасушалардың ядроларында гетерохроматин алатын көлемнің төмендеуі анықталды интерстиций түйіршікті эндоплазмалық ретикулум цистерналарының кеңеюімен бір мезгілде бұл олардың уытты стресстен туындаған синтетикалық функциясының жоғарылауымен байланысты болуы мүмкін. Бұралған түтікшелердің эпителий жасушаларында митохондриялардың көбеюі анықталды, бұл энергия қажеттіліктерінің жоғарылауын көрсетті. Кадмийдің балықтарға уытты әсері, атап айтқанда, мезонефростағы елеулі патологиялық бұзылулар түрінде көрінеді, бұл сөзсіз оның функциясының бұзылуына әкеледі.

Түйін сөздер: Еділ-Каспий және Орал-Каспий бассейні, Солтүстік Каспий, тұқы балықтары, мезонефрос, кадмий.

**В.Н. Крючков¹, И.В. Волкова², А.В. Можарова¹,
Л.К. Сейдалиева³, Ф.К. Нурбаева³, К.А. Джумашева³, 2024.**

¹Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия;

²Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм.
Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Астрахань, Россия;

³Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова,
Актау, Казахстан.

E-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru

МОРФОЛОГИЯ МЕЗОНЕФРОСА КАРПА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Крючков Виктор Николаевич – доктор биологических наук, профессор, кафедра Гидробиологии и общей экологии, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия, e-mail: kvn394@rambler.ru;

Волкова Ирина Владимировна – доктор биологических наук, доцент, кафедра Гидробиологии и общей экологии, Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала Ф.М. Апраксина– филиал ФГБОУ Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия, e-mail: gridasova@mail.ru;

Можарова Анастасия Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра математических и естественнонаучных дисциплин, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия, e-mail: a.mozharova@astvsuwt.ru;

Сейдалиева Лейла Камидуллаевна – аспирант, магистр естественных наук, ассистент профессора кафедры Экологии и геологии, Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: leila.seidaliyeva@yu.edu.kz;

Нурбаева Фарида Куантхановна – кандидат технических наук, доцент кафедры Экология и геология, Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: farida.nurbayeva@yu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4051-0326>;

Джумашева Камшат Абиловна – магистр экологии и природопользования, ассистент профессора кафедры Экологии и геологии, Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: kamshat.dzhumasheva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0105-787X>.

Аннотация. Одной из задач современной экологии является изучение индикаторных реакций гидробионтов в ответ на внешние воздействия в целях дальнейшего использования полученных знаний в определении функционального состояния особей при возникающих патологиях, что позволяет оценить адаптивную способность биосистем. Решение данной задачи не представляется возможным без изучения структуры органов, их тканей и клеток, в частности, почек. Целью работы было изучение развития нарушений в мезонефросе сазана (карпа) при экспериментальной интоксикации кадмием. Объектом исследования служили беспородные карпы (*Surginuscarpio*L.), содержащиеся в аквариумах с водой, в которую был добавлен хлорид кадмия из расчета концентрации 0,25 мг Cd²⁺/л. Электронно-микроскопическое исследование показало, что клеточный состав интерстиция был сформирован преимущественно лейкоцитами, при этом присутствовали клетки соединительной ткани и эпителиоциты. Лейкоциты были представлены лимфоцитами, нейтрофилами, макрофагами и плазматическими

клетками, что следует считать нормой для костистых рыб. Интерстициальные изменения проявлялись в виде расстройства кровообращения. У отдельных рыб до 20% почечных капсул были сморщены, в их полости наблюдался белок, плазма крови, капиллярные петли были забиты элементами крови. В отдельных капсулах отмечалась полная атрофия капилляров. Выявлено уменьшение объёма, занятого гетерохроматином в ядрах плазматических клеток интерстиция одновременно с расширением цистерн гранулярного эндоплазматического ретикулума что, вероятно, может быть связано с усилением их синтетической функции, возникшей в результате токсического стресса. Было выявлено увеличение количества митохондрий в клетках эпителия извитых канальцев, что указывало на возрастание энергетических потребностей. Токсическое действие кадмия на рыб проявляется, в частности, в виде существенных патологических нарушений в мезонефросе, что неизбежно ведет также и к нарушению его функции.

Ключевые слова: Волго-Каспийский и Урало-Каспийский бассейн, Северный Каспий, карповые рыбы, мезонефрос, кадмий.

Introduction. One of the key challenges in modern ecology is the study of indicator responses in hydrobionts to external influences, aimed at utilizing the acquired knowledge to determine the functional state of individuals during emerging pathologies. This approach facilitates the assessment of the adaptive capacity of biosystems. Addressing this challenge is not feasible without examining the structure of organs, their tissues, and cells, particularly the kidneys.

The mesonephros in fish performs several vital functions in maintaining homeostasis and serves as an indicator of their condition. One of the essential conditions for the survival of a species is its ability to adapt to changing environmental factors. The material basis for adaptation lies in morphophysiological restructuring at various levels of biological organization.

In ecological studies, pathomorphological changes in the internal organs of fish are among the objective criteria for assessing the negative impact of the environment, as highlighted in numerous studies (Kryuchkov, et al., 2004), including those focusing on the kidneys of fish (Burlakov, et al., 2021).

The objective of this study was to investigate the development of disturbances in the mesonephros of the carp (*Cyprinus carpio*) under experimental cadmium intoxication.

Materials and Methods

The study focused on common carp (*Cyprinus carpio* L.) that were kept in aquariums containing water supplemented with cadmium chloride at a concentration of 0.25 mg Cd²⁺/L. After 30 days (and subsequently every 10 days), samples of the body kidney were collected. Histological preparations were made using standard techniques: fixation in Bouin's solution, dehydration through increasing concentrations of ethanol, embedding in paraffin blocks, and staining with hematoxylin-eosin (Romeis, 1953).

For ultrastructural analysis, the material was fixed in glutaraldehyde in a cacodylate buffer (pH 7.3), followed by postfixation in a 1% osmium tetroxide solution in the

same buffer. Dehydration was carried out through increasing concentrations of ethanol, and the samples were embedded in araldite. Sections were analyzed using a JEM 100CX electron microscope.

Results and Discussion

The sections of the mesonephros revealed several key elements: reticular hematopoietic tissue, loose connective tissue with numerous blood vessels, renal corpuscles connected to convoluted tubules, and collecting ducts. Control sections exhibited interstitial reticular tissue, which constituted the main mass of the organ. The renal corpuscles had a clear, empty lumen, and the convoluted tubules were lined with a single layer of cuboidal epithelium. The cytoplasm of the cells appeared homogeneous, with granularity attributed to mitochondria, and the nuclei were well-defined, located at the basal part of the cells.

The initial segment of the nephron – the renal corpuscle – had an average diameter of $65.9 \pm 8.2 \mu\text{m}$. The diameter of the capillary tuft within Bowman's capsule averaged $52.5 \pm 5.6 \mu\text{m}$, with an average of 48.3 ± 7.6 cells in the glomerulus. Following the renal corpuscle is the convoluted tubule, divided into proximal and distal segments. The diameter of the proximal tubule sections was approximately $31.8 \pm 0.9 \mu\text{m}$, while the distal tubule measured $59.4 \pm 1.8 \mu\text{m}$.

The proximal tubule is formed by epithelial cells resting on a densely stained basement membrane. The distal tubule is similarly composed of epithelial cells connected by the basement membrane. Under electron microscopy, mitochondria in the epithelial cells of both the proximal and distal segments were predominantly located in the basal part of the cells and around the nuclei, with the mitochondria generally being large and elongated in shape.

Electron microscopy revealed that the cellular composition of the interstitium was predominantly formed by leukocytes, along with connective tissue cells and epithelial cells (ion-transporting cells). The leukocytes included lymphocytes, neutrophils, macrophages, and plasma cells, which is considered normal for bony fish, as similar leukocyte representation has been reported (Fiyorova, et al., 2020).

Changes in the kidneys induced by cadmium exposure can be categorized into three groups: alterations in the interstitial tissue, changes in the convoluted tubules, and alterations in the renal corpuscles (Chen, 2023).

Interstitial changes manifested as circulatory disturbances. During the first 30 days of experimental intoxication, no significant changes compared to controls were observed. The first signs of alterations, primarily in the form of stasis phenomena in the capillaries, became noticeable after 40 days of experimental toxic exposure. Small hemorrhages, primarily along the vessel pathways, were also noted. Subsequently, the degree of vascular disturbances increased; in most preparations, many vessels of varying calibers were unevenly dilated, with the lumens filled with blood elements.

Numerous hemorrhages were observed in the reticular stroma of the kidney (Fig. 1A), and in some cases, significant plasmorrhages were present in the stroma of the mesonephros. Alongside alterations in the rheological properties of the blood, edema of

the interstitium was detected by the end of the experiment, manifested as an enlarged peritubular space around the tubules (Fig. 2B).

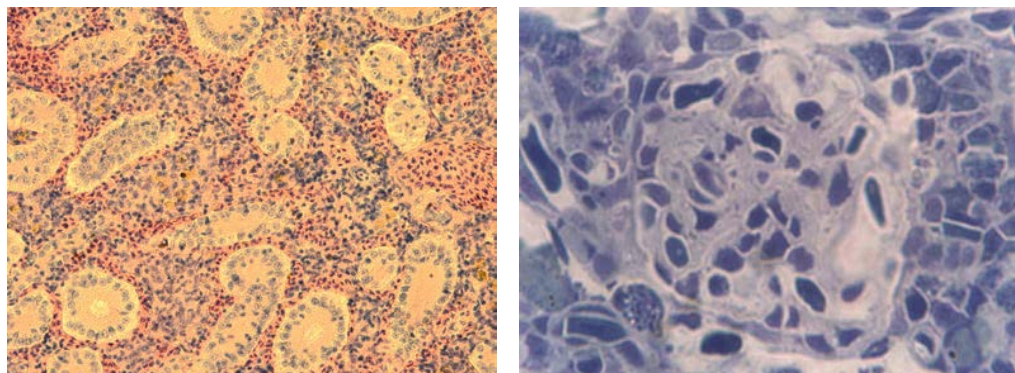


Figure 1.A – Kidney of the carp. Objective 20. Hematoxylin-eosin. Hemorrhages in the interstitium. Pronounced peritubular space around certain convoluted tubules. B – Kidney of the carp. Objective 100. Semi-thin section. Toluidine blue

Membranoproliferative changes in the capillary tuft were characterized by pronounced proliferation of mesangial cells, resulting in the narrowing of capillary lumens. The capillary tuft filled the entire cavity of the renal capsule, with an expansion of the mesangial zone and narrowing observed in the majority of the capillaries.

In most cases, the epithelium of the tubules was preserved. However, polymorphism of the cuboidal and columnar epithelial cells of the convoluted tubules was observed, with varying cell sizes. The cell borders were not always clearly defined, and some cells were devoid of nuclei. Vacuolization was noted in the cytoplasm of the convoluted tubule epithelium in some areas. Longitudinal and cross-sections revealed a homogeneous, weakly stained content in the lumens of the convoluted tubules, presumably protein; however, in most cases, the lumen of the tubules remained clear.

As the pathology progressed, all of the aforementioned changes intensified. The convoluted tubules became narrowed and filled with protein, and a wide peritubular space was observed between the epithelium and the interstitium, whereas in control sections, this space was minimal. Protein and blood plasma were present in the lumens of the tubules. In some tubules, the nuclei of epithelial cells showed signs of pyknosis. Tubules filled with homogeneous, weakly stained exudate were also noted. With the further progression of pathological processes, the lumens of most convoluted tubules remained narrowed, and the epithelium of many exhibited dystrophic changes, predominantly hydropic degeneration, characterized by the presence of atypical vacuoles in the cytoplasm.

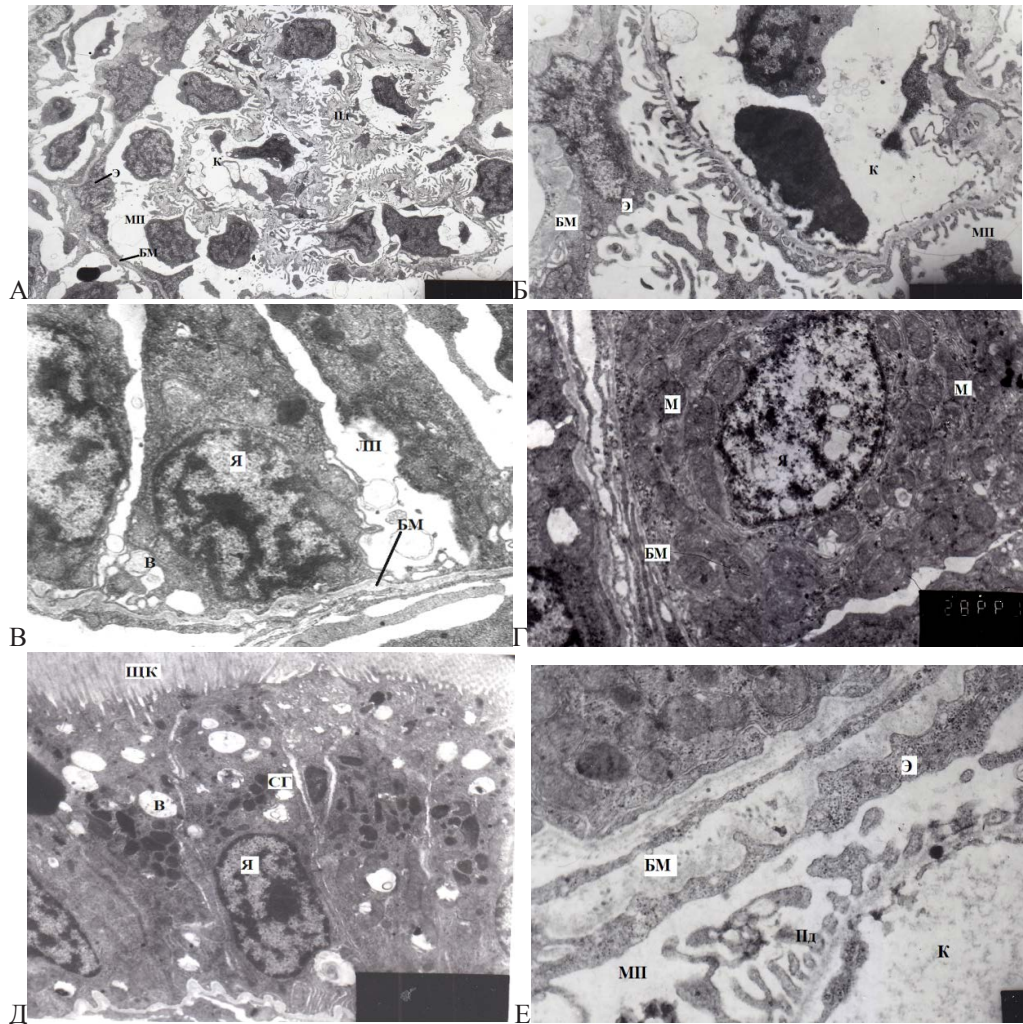


Figure 2. Ultrastructure of the nephron in carp: A – Renal corpuscle, magnification 2000x; B – Renal corpuscle, magnification 7200x. The basal membrane of the parietal epithelium is unevenly thickened, with an endothelial cell situated upon it. Within the renal corpuscle, a capillary is clearly visible, with distinct processes of podocytes. However, the integrity of the capillary epithelium is compromised; C – Distal segment of the proximal tubule of the mesonephros.

Magnification of 9600×. Expanded lateral spaces between epithelial cells. Altered cell morphology. Vacuoles in the basal portion of the cells. The nucleus exhibits prominent heterochromatin; G – section of the proximal tubule of the mesonephros. Magnification of 9600×. Type II epithelial cells. Minimal heterochromatin. Mitochondria are located in the basal part of the cell and around the nucleus. Cells are closely packed together, with narrow lateral spaces; D – section of the proximal tubule of the mesonephros. Magnification of 9000×. Type I epithelial cells at the beginning of the proximal tubule. Epithelial cell vacuolization. E – renal corpuscle, magnification of 20000×. Symptoms

of glomerulonephritis presented as «minimal changes», with uneven thickening of the basement membrane and vacuolization of the endothelium. BM – basement membrane, V – vacuole, C – capillary, LP – lateral space, M – mitochondrion, MP – urinary space, P – podocyte, SG – secretory granules, EC – endothelial cell, BR – brush border, N – nucleus.

Changes in renal corpuscles. Renal corpuscles varied widely in size, ranging from 26 to 130 micrometers or more. The average capsule size during this period was 74.6 ± 8.54 micrometers ($CV = 25.5\%$). Enlarged renal corpuscles were observed, characterized by mesangial-endothelial proliferation of glomerular capillaries, where capillary loops completely filled the entire space of the renal capsule, and the urinary space was absent (Fig. 1B). In another variant, “collapsed” capillary loops only adhered to one side of the renal capsule, leaving the remaining part of the capsule free.

There were also transformations of renal corpuscles into areas of destructured tissue. Epithelial proliferation of the capsule was noted, although it was generally expressed to a minor extent. A single case of capsule epithelial proliferation in the form of crescents was observed, which is characteristic, for example, of kidney damage in rapidly progressive glomerulonephritis in humans (Shulutko, 1983). In some fish, up to 20% of renal capsules were shriveled, with protein and plasma observed in their cavities, and capillary loops were clogged with blood elements. In certain capsules, complete atrophy of the capillaries was noted. Overall, it can be concluded that after 30 days from the onset of intoxication, the experimental crucians developed symptoms of hemorrhagic glomerulonephritis.

After any damaging, including toxic, impact on the organism, one of the most important questions is the prognosis, which depends on the potential for further repair or compensation for the damage.

It should be noted that after the removal of the toxic exposure, the condition of the mesonephros in the experimental fish did not improve over the course of two weeks; instead, a worsening of pathological changes was observed. Blood vessels, especially capillaries, remained dilated, and microcirculation was impaired (stasis). Multiple hemorrhages of various sizes and ages were present in the interstitium. Edema around the epithelial cells of the convoluted tubules persisted. Various-sized vacuoles were found in the cytoplasm of the cells. The renal corpuscles were enlarged, with capillary loops completely filling their cavities. Erythrocytes were present in the renal capsules.

After 30 days of the experimental fish being in clean water, some renal corpuscles were enlarged, while others remained unchanged, resembling the control sections of the mesonephros. The average size of the renal corpuscles was 70.22 ± 7.2 micrometers, with a significant reduction in variability of the corpuscle sizes ($CV = 9.86$). Atrophied renal corpuscles were observed, with diameters not exceeding 25-26 micrometers, and the cavities of these corpuscles were almost devoid of capillaries, being filled with protein.

Based on the dynamics of the changes in the structure of the renal tubules throughout the experiment, this atrophy developed as a result of cadmium's toxic action, and the pathological process continued despite the transfer of the fish to clean water. In this

case, residual effects of intoxication were observed, leading to irreversible damage at the tissue level. Edema of the epithelial cells of the convoluted tubules persisted. Nevertheless, the condition of the cells approached normal. Hemorrhages were present in the intertubular tissue. The characteristics of the hemorrhages changed compared to previous observations; the color of the hemorrhages became characteristic of dying erythrocytes (due to the presence of hemosiderin).

It should be noted that adaptive processes at the cellular level were observed alongside pathological changes. For instance, a reduction in the volume occupied by heterochromatin in the nuclei of plasma cells in the interstitium was identified, coinciding with the expansion of the cisternae of the granular endoplasmic reticulum, which is likely associated with an enhancement of their synthetic function resulting from toxic stress. An increase in the number of mitochondria in the epithelial cells of the convoluted tubules was also observed, indicating an increase in energy demands. The reduction in the volume of heterochromatin in the nuclei of epithelial cells is another indicator of cellular activation (Ama-Abasi, et al., 2022).

Discussion

Cadmium is one of the most toxic metals lacking biological function and is capable of accumulating in the bodies of aquatic organisms. Previous studies have shown that even low concentrations of this metal induce hepatic, nephrological, and hematological effects in freshwater fish (Pereira, et al., 2016). The kidneys are a target organ, and it has been repeatedly demonstrated that cadmium causes kidney damage even at low concentrations, with cadmium-induced renal damage potentially progressing rapidly to chronic kidney disease (Hernández-Cruz, et al., 2022; Kryuchkov et al., 1992). It has been shown that cadmium intoxication develops over an extended period, with threshold concentrations being very low, leading to cytological damage at both structural and ultrastructural levels in tubular cells and the brush border (Avallone, et al., 2017).

The observed signs of necrosis and disintegration of the renal corpuscles are consistent with data obtained by (Al-Zahaby et al. 1998), who described vacuolization and disintegration of the epithelium in the distal segments of the mesonephric tubules. It is noted that changes in the tubules are primarily associated with impaired reabsorption or secretion of substances (Avallone, et al. 2007).

These types of damage are accompanied by a weakening of the protective mechanisms of the cells, further increasing the sensitivity of fish to metal exposure (Mela, et al., 2007), (Mochizuki, 2005).

Our studies noted mitochondrial responses to cadmium intoxication. Mitochondria play a fundamental role in the nephrotoxicity of cadmium. Cadmium ions, penetrating the mitochondria, affect the electron transport chain, increasing the production of reactive oxygen species and altering mitochondrial dynamics, which leads to autophagy and inevitable apoptosis (Hernández-Cruz, et al., 2022; Kryuchkov, et al., 2022).

Thus, the toxic effects of cadmium on fish manifest, in particular, as significant pathological disturbances in the mesonephros, which inevitably also leads to dysfunction of this organ. Residual effects of toxic damage to the kidneys persist for at least thirty days.

References

- Al-Zahaby, A.S., Hemmaid, K.Z., Gamal, A.M., Ghonemy, O.I. The pollutant effects of copper, zinc, and lead on the histological patterns of fish kidney. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 1998, Vol. 2(3), pp. 15–41.
- Avallone, B., Cerciello, R., Creti, P., Pizzoleo, C., Scudiero, R., Tizzano, M., Panzuto, R., Simoniello, P., Montinari, M., Motta, C.M. Long-term exposure to cadmium: Pathological effects on kidney tubule cells in *Sparus aurata* juveniles. *Aquatic Toxicology*, 2017, Vol. 193, pp. 201–209.
- Ama-Abasi, D. Influence of physical environmental parameters on the abundance of *Chrysichthys nigrodigitatus* in the Cross River. *Scientific African*, 2022. DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01247.
- Burlakov, I.A., Kryuchkov, V.N., Volkova, I.V. Reactions of the kidneys of bream (*Blicca bjoerkna*) in the Volga Delta to habitat conditions. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishery*, 2021, No. 3, pp. 142–149.
- Chen, Y. Ensemble projections of fish distribution in response to climate changes in the Yellow and Bohai Seas, China. *Ecological Indicators*, 2023, Vol. 146(11). DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109759.
- Floreva, E.A., Sendek, D.S., Yurchenko, V.V. Features of the ultrastructure of the mesonephros in juvenile Baltic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Biology of Inland Waters*, 2020, No. 4, pp. 393–403.
- Kryuchkov, V.N., Abdurakhmanov, G.M., Fedorova, N.N. Morphology of organs and tissues of aquatic animals. Moscow: Nauka, 2004, p. 144.
- Hernández-Cruz, E., Amador-Martínez, I., Aranda-Rivera, A., Cruz-Gregorio, A., Chaverri, J. Renal damage induced by cadmium and its possible therapy by mitochondrial transplantation. *Chemico-Biological Interactions*, 2022, Vol. 361, 109961.
- Kryuchkov, V.N., Nguyen Van Hao, Mohamed Said Ahmed, Fedorova, N.N. Pathological changes in the kidneys of carp due to cadmium accumulation. In: Abstracts of the Scientific and Practical Conference on Ecological Problems of Agriculture and Fisheries in the Volga Region. Saratov, 1992, p. 55.
- Kryuchkov, V.N., Volkova, I.V., Seydaliyeva, L.K. Morphofunctional criteria for the adaptation of fish to environmental conditions. *A POSTE-RIORI Scientific Journal*, Scientific Artel: Academic Publishing, 2022, No. 3, pp. 5–8.
- Mela, M., Randi, M.A.F., Ventura, D.F., Carvalho, C.E.V., Pelletier, E., Oliveira, C.A. Effects of dietary methylmercury on liver and kidney histology in the neotropical fish, *Hoplias malabaricus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, Vol. 68(3), pp. 426–435.
- Mochizuki, E., Fukuta, K., Tada, T., Harada, T., Watanabe, N., Matsuo, S., Hashimoto, H., Ozato, K., Wakamatsu, Y. Fish mesonephric model of polycystic kidney disease in medaka (*Oryzias latipes*) pc mutant. *Kidney International*, 2005, Vol. 68, pp. 23–34.
- Pereira, L.S., Ribas, J.L.C., Vicari, T., Silva, S.B., Stival, J., Baldan, A.P., Valdez Domingos, F.X., Grassi, M.T., Cestari, M.M., Silva de Assis, H.C. Effects of ecologically relevant concentrations of cadmium in a freshwater fish. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, Vol. 130, pp. 29–36.
- Romeis, B. *Microscopic Technique*. Moscow: Foreign Literature, 1953, p. 720.
- Shulutko, B.I. *Pathology of the kidneys*. Leningrad: Medicine, 1983, p. 296.

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

Volume 4. Number 352 (2024), 168–178

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.317>

ӘОЖ (УДК) 541.183.24

ҒТАХР (МРНТИ) 31.21.25

©**M.K. Kurmanaliev, Zh.D. Alimkulova, Zh.E. Shaikhova*,
S.O. Abilkasova, 2024.**

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Zh.shaikhova1965@gmail.com

NEW SORBENTS BASED ON TIACROWN ETHERS: PREPARATION AND APPLICATION FOR SILBER EXTRACTION

Kurmanaliev Musrepbek Kurmanalievich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mkk@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Alimkulova Zhamilya Dzhakypberkyzy – Master of Chemistry, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Zhamilya111@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Shaikhova Zhanat Erezhinovna – Master of technical sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Zh.shaikhova1965@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Abilkasova Sandugash Orynbaevna – Candidate of technical science, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sandy_ao@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>.

Abstract. The ability of crown ether compounds to effectively react with metal ions underlies their practical use. The selectivity of compounds depends on the structure of the ligands in the molecule, the presence of functional groups and donor atoms in it. It is known that the high selectivity of the reagents depends not only on the nature of the donor atoms in the ring, but also on the stability of the ring structure. The preparation of polymers containing a thiacycrown ether group is an urgent task, since such groups make it possible to obtain selective sorbents.

The purpose of this work is the synthesis of new selective sorbents containing a thiacycrown ether group and the study of their complexing properties with respect to silver ions. To obtain polymers for this purpose, the reaction of the interaction of a gel and a porous copolymer of chloromethylated styrene and divinylbenzene (HMS) with aminobenzothiacrown ethers was studied. Using various influencing factors, it was possible to obtain sorbents with a high exchange capacity (2.5 mmol/g). When studying the sorption of silver(I) ions from aqueous solutions by a supramolecular sorbent with a thiacycrown ether group, it was shown that the optimal pH value is 6, the contact time is 60 min. The maximum sorption capacity of the sorbent for silver (I) ions reaches 240.8 mg/g.

Keywords: thiacycrown ether, sorption capacity, copolymer of styrene and divinylbenzene, silver ions.

©М.Қ. Құрманалиев, Ж.Д. Алимқұлова, Ж.Е. Шаихова*,
С.О. Әбілқасова, 2024.

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com

ТИАКРАУН-ЭФИРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА СОРБЕНТТЕР: АЛУ ЖӘНЕ КҮМІСТІ БӨЛУ ҮШІН ҚОЛДАНУ

Құрманалиев Мүсірепбек Құрманәліұлы – химия ғылымдарының докторы, профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: mkk@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Алимқұлова Жамиля Джакыпбердықызы – химия ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: Zhamilya111@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Шаихова Жанат Ережиновна – техника ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Дауметова Салтанат Тұрмағанбетқызы – педагогика ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: daumetova83@mail.ru [ORCID 0009-0008-2667-0228](https://orcid.org/0009-0008-2667-0228);

Әбілқасова Сандуғаш Орынбайқызы – техника ғылымының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: sandy_ao@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>.

Аннотация. Краун–эфирлі қосылыстардың металл иондарымен талғамды әрекеттесу қабілеті, олардың практикада қолданылуының негізі болып табылады. Қосылыстардың талғамдылығы, молекула құрамындағы лигандтардың құрылысына, ондағы функционалды топтар мен донорлы атомдардың болуына байланысты. Реагенттердің жоғары талғамды болуы, циклдегі донорлы атомдардың табиғатына ғана емес, сол цикл құрылымының тұрақтылығына да тәуелді болатыны белгілі. Құрамында тиакраун тобы бар полимерлер алу өзекті мәселе болып табылады, өйткені ондай топтар талғампаз сорбентер алуға мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты – құрамында тиакраун – эфир тобы бар жаңа селективті сорбенттер синтезі және олардың күміс иондарына қатысты комплекс түзу қасиеттерін зерттеу. Осындай мақсаттағы полимерлер алу үшін гелді және кеуекті хлорметилденген стирол және дивинилбензол сополимері (ХМС) мен аминобензотиакраун-эфирлердің әрекеттесу реакциясы зерттелді. Әсер ететін әртүрлі факторларды қолдана отырып, алмасу сыйымдылығы жоғары (2,5 ммоль/г) сорбенттер алуға қол жеткіздік. Сулы ерітінділерден тиакраун-эфир тобы бар супрамолекулалық сорбентпен күміс(I) иондарының сорбциялануын зерттеу үшін оңтайлы рН мәні 6 болатынын көрсетті, жанау уақыты 60 мин. Күміс (I) иондарына қатысты сорбенттің максималды сорбциялық қабілеті 240,8 мг/г жетеді.

Түйін сөздер: тиакраун-эфир, сорбциялық сыйымдылық, стирол және дивинилбензол сополимері, күміс иондары.

©М.К. Курманалиев, Ж.Д. Алимкулова, Ж.Е. Шаихова*,
С.О. Абилкасова, 2024.

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан.

*E-mail: zh.shaikhova1965@gmail.com

НОВЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТИАКРАУН-ЭФИРОВ: ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕРЕБРА

Курманалиев Мусрепбек Курманалиевич – доктор химических наук, профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: mkk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8561-4332>;

Алимкулова Жамиля Джакыпбердыкызы – магистр химических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: Zhamilya111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9938-6710>;

Шаихова Жанат Ережиновна – магистр технических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: zh.shaikhova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5909-4182>;

Абилкасова Сандугаш Орынбаевна – кандидат технических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: sandy_ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8322-4592>.

Аннотация. Способность краун-эфирных соединений эффективно реагировать с ионами металлов лежит в основе их практического использования. Селективность соединений зависит от строения лигандов в молекуле, наличия в ней функциональных групп и донорных атомов. Известно, что высокая селективность реагентов зависит не только от природы донорных атомов в цикле, но и от устойчивости структуры цикла. Получение полимеров, содержащих тиакраун-эфирную группу, является актуальной задачей, поскольку такие группы позволяют получать селективные сорбенты.

Цель работы – синтез новых селективных сорбентов, содержащих тиакраун-эфирную группу, и изучение их комплексообразующих свойств по отношению к ионам серебра. Для получения полимеров для этой цели была изучена реакция взаимодействия геля и пористого сополимера хлорметилированного стирола и дивинилбензола (ГМС) с аминокбензотиакраун-эфирами. Используя различные воздействующие факторы, удалось получить сорбенты с высокой обменной емкостью (2,5 ммоль/г). При изучении сорбции ионов серебра(I) из водных растворов супрамолекулярным сорбентом с тиакраун-эфирной группой было показано, что оптимальное значение рН равно 6, время контакта 60 мин. Максимальная сорбционная емкость сорбента по ионам серебра (I) достигает 240,8 мг/г.

Ключевые слова: тиакраун-эфир, сорбционная емкость, сополимер стирола и дивинилбензола, ионы серебра.

Introduction.

One of the achievements of recent decades is the use of synthetic macrocyclic compounds (Crown esters and cryptands) and their acyclic analogues (podants) as a

complex inhibitor for cation, anion and neutral low molecular weight substances, which is of great interest from a scientific and practical point of view. Currently, many new macrocyclic compounds have been synthesized, and the scope of their application is also sharply increasing (Jonathan 2022; Zhaozhao 2022).

Sorbents based on thia-crown ethers are used to extract heavy metals from radioactive waste solutions and to purification of aqueous solutions from metal ions Co^{2+} , Sr^{2+} etc. They are also used for selective removal of strontium from solutions of radioactive waste and spent nuclear fuel, for radiochemical analysis (determination of strontium in water, soil and biological materials), for separation of strontium and yttrium isotopes (Gromov, 2020).

The structure of complexes of metal ions with crown compounds is unique: metal ions enter the internal cavities of ligand molecules, the selectivity of complex formation in the first approximation is determined by the correspondence between the size of the metal cation and the size of the cavity. The study of these complexes made it possible to formulate the concept of relatively weak multicenter interactions, which contributed to the development of receptor-substrate interaction patterns developed in supramolecular chemistry (Steed, 2022).

The use of polymeric sorbents containing macrocyclic compounds and their open-chain analogs for separation and preconcentration is preferable in some cases to extraction for a number of reasons. First, they are easier to recycle and recover for reuse, second, crown-containing sorbents are cheaper and less toxic than their monomeric counterparts, and third, the efficiency of analyte extraction by monomeric macrocyclic compounds is reduced in some cases due to their partial solubility in water. This problem can be partially solved by attaching Crown compounds to a suitable matrix (Yergozhin, et.al. 1994, Kurmanaliev, et.al. 1997; Yakshin, 1992).

Immobilization of macrocyclic compounds on a solid carrier surface can be accomplished by the following methods (Yergozhin, et.al. 1994):

- due to the formation of a chemical bond during the reaction between the functional groups of a Crown compound and the functional groups of an organic (polymer) or inorganic solid carrier.

- Crown impregnation of compounds into a solid porous carrier.

This method is quite simple, but its disadvantage is the lack of chemical bonding between the Crown compound and the solid carrier. As a result, macrocyclic compounds from the support surface can be washed off in the sorption system. Despite this disadvantage, porous carriers impregnated with less soluble compounds can be used in ion fission (Yakshin, 2010; Bezhin, 2017; Bezhin, 2015; Voloshina, 2014).

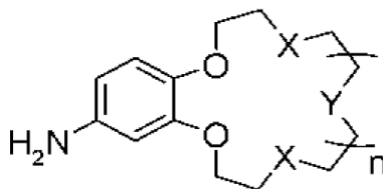
Among heteroatoms in macrocycles other than oxygen, which provide stable formation of complexes with heavy and transition metal ions, sulfur, whose atom is an electronic analog of oxygen, is of great importance. On the other hand, the presence of such heteroatoms in the ring structure of the molecule ensures the coincidence of donor atoms and atoms of metals and soft acids and bases in the macrocycle (Pearson's concept) (Yergozhin, et.al. 2005; Gromov, 2020; Tsarkova, 2014). Nevertheless, crown-complex polymers containing sulfur atoms in the ring are still not fully understood

(Abramov, 2000; Volchkova, 2013). In view of these conditions, the search for new methods for the synthesis of polymeric thiacaun- ether compounds, the study of their physicochemical and complexing properties is currently one of the urgent problems.

The aim of this work is to synthesize new selective supramolecular sorbents containing thiacaun-ether group and to study their complexation properties towards silver ions.

Experimental (Materials and methods)

Gel and macroporous chloromethylated copolymers of styrene and divinylbenzene (HMC, 8% divinylbenzene) containing 18.2% chlorine were used. Aminbenzothiakoown-esters (Dmitrieva, et.al. 2007) were obtained using the method cited in the work:



here a – X = S, Y = O, n = 0

b – X = S, Y = O, n = 1

c – X = S, Y = O, n = 2

d – X = S, Y = O, n = 3

e – X = O, Y = S, n = 1

Silver nitrate was also used. To obtain high-water polymers having sorption ability and a certain degree of swelling, yellow copolymer of chloromethylated styrene and divinylbenzene (20 g) was placed in a three-necked flask equipped with a reflux condenser, a thermometer and a mechanical stirrer and dimethylformamide (10-15 ml) was added and stirred until the polymer swelled. After one hour, after swelling of the polymer, aminobenzo-5,11-dithia-15-crown-5 was added to the flask. This mixture in the flask was stirred at high speed for 6-8 hours at 90°C. e silver nitrate was used.

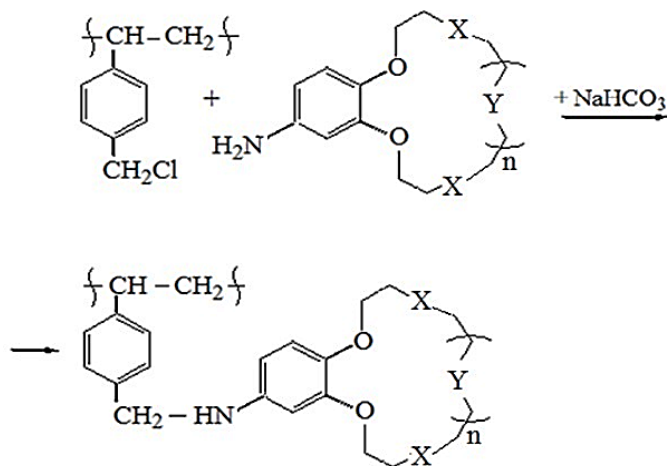
The reaction product was cooled to room temperature, filtered, washed with distilled water, and the resulting polycraun-ether compound was dried to a stable mass.

Chemically pure silver nitrate AgNO_3 was used to prepare solutions of different concentrations. Samples of solutions of Ag^+ cations with specific silver concentration from 0.1 to 2.0 mg/ml were prepared by dilution of silver nitrate solutions. Adsorption of Ag^+ ions from the solutions was carried out in static mode at room temperature (Yergozhin, et.al. 2020). For this purpose, 1 g of adsorbent was taken and 50 ml of silver solution of known concentration of 0.1-2.0 mg/mL silver was added. The solutions were left for twenty-four hours for equilibration at a given temperature. During this time, exchange processes and sorption of silver ions in the sorbents took place between the solution and the sorbent. After 0.5, 1, 2 and 24 hours, the equilibrium concentration of silver in the solutions was determined.

The concentration of Ag^+ ions in solutions was determined by the atomic adsorption process (30-35B, Perkin Elmer, USA). IR spectra are recorded on the Vector-22 Fourier spectrometer in KBr tablets.

Results and discussion

Polymer crown ethers is a widely used method in the field of synthesis of esters, which is the immobilization of macrocyclic low molecular weight compounds into carrier polymers. To obtain polymers of this purpose, the reaction of the interaction of the gel and porous chloromethylated styrene and divinylbenzene copolymer (HMC) and the macrocyclic compound aminobenzo-5,11-dithia-15-crown-5 (ABDT15K5) was studied:



The properties of polymers immobilized by crown-ether functional groups will depend mainly on how much of these functional groups are included in the composition of polymers, i.e. the size. The degree of immobilization of the copolymer of the HMS by crown-ether functional groups will depend on several factors. The main factors are: the purity and relationships of monomers, the concentration of the solution, the temperature and time of the reaction, and the nature of the solvent. The reaction results are shown in Table 1, where a - $X = S, Y = O, n = 0$; b - $X = S, Y = O, n = 1$; c - $X = S, Y = O, n = 2$; d - $X = S, Y = O, n = 3$; e - $X = O, Y = S, n = 1$. Using different exposure factors, we were able to obtain sorbents with high exchange capacity. For sorbent composition b - $X = S, Y = O, n = 1$, the optimal conditions are as follows: transformation depth 91.2%, CAC 2.4 mmol/g, Ag^+ ion sorption capacity 2.4 mmol/g.

Using various influencing factors, we managed to obtain sorbents with a high exchange capacity.

It should be noted that the obtained sorbents with the thiacaun ether group do not sorb alkali and alkali-earth metals.

The resulting sorbent structure was studied by IR spectroscopy. In the IR spectrum of the sorbent, the following oscillations are observed: at 3448 cm^{-1} – oscillation of the NH-group, -C=O -groups – 1733 cm^{-1} , bending oscillation of the NH-group – 1641

cm^{-1} , tensile oscillation of the $-\text{C}-\text{C}-$ bonds of the aromatic ring – 1539 cm^{-1} , bending oscillation $-\text{C}-\text{C}-$ bonds in the aromatic ring - $1075-1027 \text{ cm}^{-1}$ (in the plane of the aromatic ring) and $914-693 \text{ cm}^{-1}$ (outside the plane of the aromatic ring).

Table 1. Results of immobilization of macrocycles in polymer carriers

Aminobenzothiacrown ether	Transformation depth, %	CAC, mmol / g	Sorption capacity on Ag^+ ions, mmol / g
a	92,1	2,5	1,8
b	91,2	2,4	2,4
c	90,8	2,0	1,6
d	89,0	1,8	1,4
e	92,0	2,4	1,0

The concentration of hydrogen ions (the effect of medium pH) in the liquid phase is one of the most important factors affecting the balance of the complex formation reaction of metal ions with sorbents. Sorption of $\text{Ag}(\text{I})$ ions was carried out under static conditions of an aqueous medium, the changing parameter was only the acidity of the medium ($\text{pH} = 3-8$). The same amount ($50,000 \text{ mg}$) of sorbent was added to conical flasks of the same capacity and shape. The total volume of the liquid phase and the concentration of metal ions in each flask remained constant. according to the results of azhiribe, the degree of sorption passes through a maximum of around $\text{pH} 6$. This can be explained by the fact that when the pH is low, the adsorption of $\text{Ag}(\text{I})$ ions is low. when the pH increases and reaches a value of 6, sorption sites will be available. Consequently, the adsorption of silver(I) ions increases. This suggests that the mechanism of sorption of $\text{Ag}(\text{I})$ ions is strongly dependent on pH . A pH value of 6 was used as the optimum pH for further studies. Fig. 1 shows graphically the dependence of sorption capacity of the sorbent on pH .

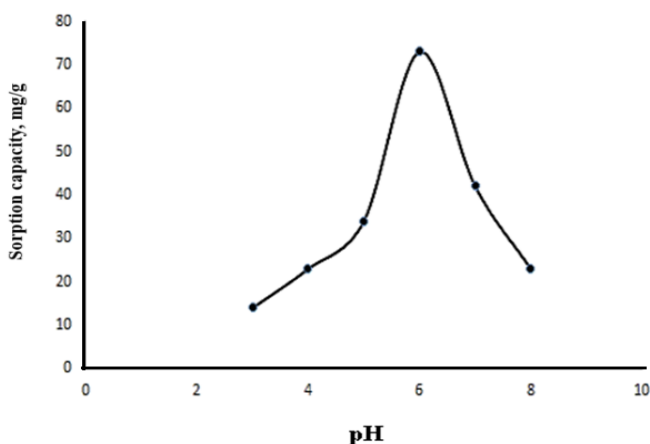


Figure – 1 Dependence of the sorbent's sorption capacity on the pH of the medium; $m=30 \text{ mg}$, $V=20 \text{ ml}$, $S_{\text{ME}}=10^{-2} \text{ mol/l}$

The contact time of the sorbent and the liquid medium is an important indicator that affects the sorption and capacitance of metal ions. To study the effect of contact time, 50 mg of sorbent was added to 50 ml conical flasks. The total volume of the liquid phase was 20 ml. The results of the experiment showed that Ag(I) sorption increases over time. Full sorption of Ag(I) occurs in one hour under static conditions. Figure 2 graphically shows the dependence of the sorption capacity of the sorbent on the time of contact.

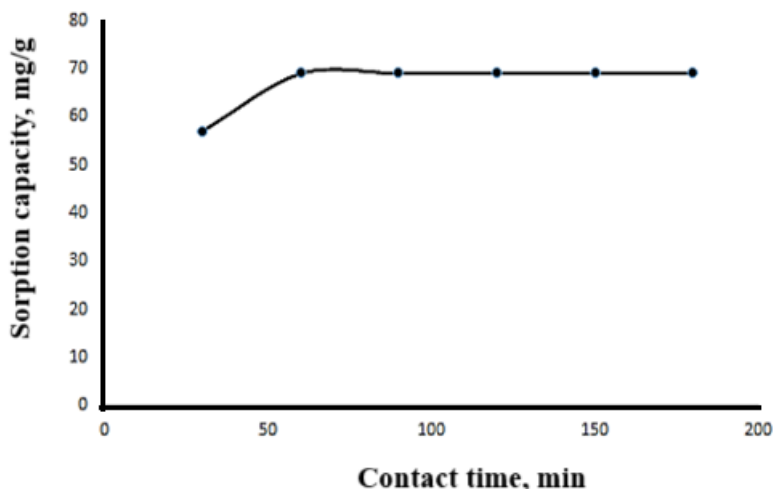


Figure – 2 Effect of contact time on sorption capacity; $m=30$ mg, $V=20$ ml, $S_{ME} = 10^{-2}$ mol/l

The study of the kinetic characteristics of the sorbent was carried out at a temperature of 20°C in model solutions with an initial concentration of $C_0 = 1$ mg/ml Ag^+ .

The resulting kinetic curve has a classic type: with an increase in the process time, the residual concentration of silver in the solution decreases. The most noticeable decrease, corresponding to an effective course of adsorption, is observed in the first hour. The almost linear course of the kinetic curve in this section allows us to assume the first kinetic order of the process.

$$\frac{dC}{d\tau} = -k \cdot C$$

where C is the concentration of silver in the solution; k is the velocity constant (min^{-1}).

The integration of this equation makes it possible to obtain a kinetic model of the adsorption of silver ions with a sulfur sorbent based on thiocraun-ether and calculate the velocity constant:

$$C = C_0 \cdot e^{-k\tau}$$

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C}$$

The first order of the reaction can correspond to the diffusion and kinetic zones of the process. However, given that the diffusion coefficients of most metal ions in aqueous solutions are at the level of 10^{-4} - 10^{-5} $\text{cm}^2/\text{s}^{-1}$, it can be assumed that the overall adsorption rate is limited. It is through the process of diffusion of mercury ions into the active centers of the sorbent. The high content of sulfur atoms in the sorbent ensures the rapid course of the adsorption action along the complex-coordination mechanism.

But the formation of such a complex requires a certain geometric correspondence between the location of sulfur atoms on the surface of a solid sorbent, which is not always possible. It was seen that in the case of coordination of silver with a smaller number of sulfur atoms, an effective complex is registered.

The effect of the initial concentration of Ag^+ . To determine the amount of metal adsorbed by the solid phase, solutions were prepared in advance, the concentration of Ag(I) ions of which ranged from $0.4 \cdot 10^{-3}$ to $8.0 \cdot 10^{-3}$ mol/l. The results of the experiment showed that with an increase in the initial concentration of the metal, the amount of adsorbed Ag(I) ions increases, reaching a maximum of $8.0 \cdot 10^{-3}$ mol/l. A further increase in the initial metal concentration does not result in a significant change in the amount of adsorbed Ag(I) ions. The estimated maximum adsorption capacity of the sorbent relative to the adsorbed Ag(I) ions was 240.8 mg/g. The dependence of the sorption capacity of the sorbent on the initial concentration of silver (I) ions is graphically shown in Figure 3.

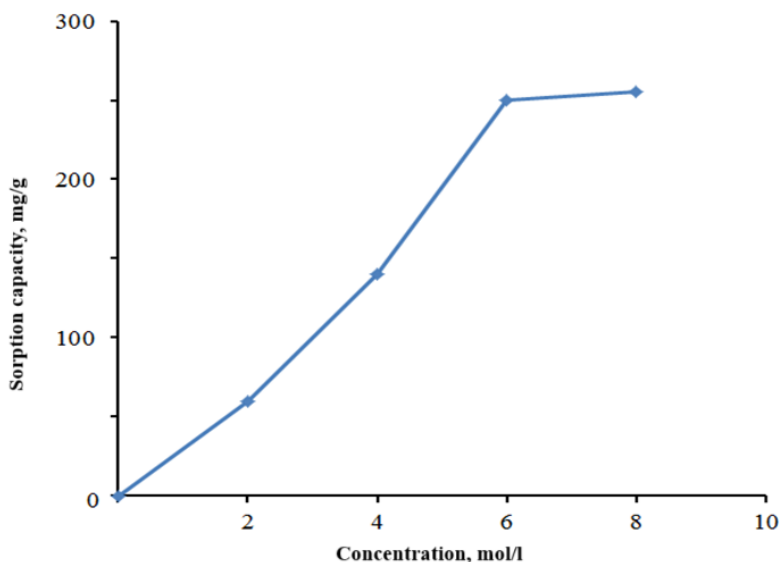


Figure – 3 Effect of the initial concentration of Ag(I) ions on the sorption capacity; $m=30$ mg, $V=20$ ml

The sorption capacity of the sorbent relative to Ag(I) ions was calculated using the following formula:

$$A=(C_0-C_\tau)\cdot V/m,$$

where C_0 , C_τ – initial and equilibrium concentrations of metal ions, mmol/l; m - mass of sorbent, g; V – volume of salt solutions, l.

Effect of ionic force. The dependence of sorption capacity on the ionic strength of the solution was studied. Silver was sorbed from solutions containing 0.1-1.4 M KCl. The presence of KCl increased the adsorption capacity to the value $\mu = 1.0$. Further, there was a significant decrease in metal sorption from KCl solutions with a concentration of more than 1.0 M. All subsequent experiments were carried out in solutions with an ionic strength of 1.0 M.

Desorption research. The ability to regenerate and reuse macrocyclic sorbents depends on the nature of the functional groups and the stability of the complex formed in the sorbent phase. Sorbent samples were packed in conical flasks of the same capacity and shape. To obtain metal ions absorbed by the sorbent, mineral and organic acids HNO_3 , CH_3COOH of different concentrations (0.5; 1.0; 1.5; 2.0 M) were used. The results of the experiment showed that a solution of 0.5 m HNO_3 has the best elucidation properties in relation to silver (I) ions in the solid phase: the sorption capacity after desorption changed to a value of 42.75 mg/g. For comparison, the desorption of silver ions with a solution of CH_3COOH at the same concentration (0.5 M) was 8.44 mg/g.

Conclusions

The synthesis of new selective sorbents containing thia-crown-ether group and their complexing properties towards silver ions have been studied. It is shown that the reaction of gel and porous chloromethylated copolymer of styrene and divinylbenzene (HMS) and aminobenzothiacraun-esters leads to polymers for this purpose. Gel- and macroporous chloromethylated copolymers of 18.2% chlorinated styrene and divinylbenzene (HMS, 8% divinylbenzene) immobilized by functional groups of crown ether. The composition of the high-ester crown-ether sorbent b - X = S, Y=O, n = 1: transformation depth 91.2 %, CAC 2.4 mmol/g, sorption capacity for Ag^+ ions 2.4 mmol/g.

Thus, the ability of the proposed new polymeric sorbents to form complexes depends on the ratio of reagents, the nature of the silver-containing reagent, the size of the macrocycle, and the dentancy of the ligand determined by the amount of sulfur in the thiacaun ethers. The maximum sorption capacity was achieved with a 15-membered crown ether.

To study the sorption of silver(I) ions from aqueous solutions by a supramolecular sorbent containing a synthetic thiacaun-ether group, it was shown that the optimum pH value was 6 and the contact time was 60 min. With respect to silver (I) ions, the maximum sorption capacity of the sorbent reaches 240.8 mg/g.

References

Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu. (2017) Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(*tert*-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 311(1). 317-322.

- Bezhin N.A., Dovgiy I.I. (2015), Sorbents based on crown ethers: preparation and application for strontium extraction, *Usp. Chem.*, 84:12 1279-1293; *Russian Chem. Reviews*, 84:12 (2015), 1279-1293
- Dmitrieva S.N., Sidorenko N.I., Vedernikov A.I., Kuzmina L.G., Howard D.A., Buslaeva T.M., Gromov S.P. (2007). Synthesis of nitro- and amino derivatives of benzothiacrown ethers. *Isa. RAS, ser. Chem.* №5. 958-966.
- Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K. (2020) Fundamentals of ion exchange. *Almaty, Almanakh.* 275 c.
- Ergozhin E.E., Kurmanaliev M.K.. (1994) Polymers on the basis of crown compounds. *Almaty, "Fylym"*, 271c.
- Gromov V.F., Gerasimov G.N., Ikim M.I., Spiridonova E.Y., Trakhtenberg L.I. (2020) Sorption of metal ions from aqueous solutions by crown ethers. *Chem.physika*, Vol. 39, No. 5, pp. 59-65.
- Gromov V.F., Gerasimov G.N., Ikim M.I., Spiridonova E.Y., Trakhtenberg L.I. (2020), Sorbents based on crown ethers for purification of aqueous solutions from metal ions. *Chem.physika*, Vol. 39, No. 11, pp. 67-72.
- Jonathan W. Steed, Jerry L. Atwood. (2022). *Supramolecular Chemistry*, 3rd Edition. John Wiley & Sons. 1216 p.
- Kurmanaliev M.K., Ergozhin E.E., Kalmuratova A.A., Bizhanov F.B. (1992). New polyamides with dicyclohexylcrown-ether groups. *Dokl. of the USSR Academy of Sciences.* 323(6). 1108 -1111.
- Nitrogen and sulfur-containing polymeric crown ethers. *Izv. MES and NAS RK ser.chem.* (2005), №5, c.65-73
- Steed, J. W., & Atwood, J. L. (2022). *Supramolecular chemistry*. John Wiley & Sons.
- Supramolecular Polymers: From Synthesis to Self-Assembly.* *Macromol Rapid Commun.* (2022). Jul;43(14):e2100775. doi: 10.1002/marc.202100775.
- Tsarkova, M.S.; Zaitsev, S.Y.; Zaitsev, I.S.; Krutikov, A.A.; Shtyrlin, V.G. (2014), Spectral studies of dithiacraun ether derivative in the presence of metal cations and modeling of their possible complexes. *Macroheterocycles*, 7(4), 380-385. DO I: 10.6060/mhc140509t
- Volchkova E.V., Mishchikhina E.A., Buslaeva T.M., Gromov S.P. (2013) Extraction of noble metals by macrocyclic compounds. *Moscow. MITHT Publishing House*, 112 p.
- Voloshina N.S., Kamalov G.S. (2014) Crown ethers immobilized on the surface of polymeric materials and silica. *Physicochemistry of surface and protection of materials.* vol. 50, no. 5, pp. 483-495
- Yakshin V.V., Vil'kova O.M., Tsarenko N.A., Tsivadze A.Yu. (2010) Metal extraction from nitric acid solutions by the macrocyclic endoreceptor dicyclohexyl-18-crown-6 immobilized in a polymer matrix. *Doklady Chemistry.* 430(2). 54-57.
- Yakshin, V.V.; Tsarenko, N.A.; Zhukova, N.G.; Laskorin, B.N. (1992) Methods for preparation of solid extractants based on crown ethers in polymer matrices. *Dokl. of the USSR Academy of Sciences.* 325(4). 748-750.
- Duan, Z., Xu, F., Huang, X., Qian, Y., Li, H., & Tian, W. (2022) Crown Ether-Based Supramolecular Polymers: From Synthesis to Self-Assembly. *Macromolecular Rapid Communications*, 43(14), 2100775.

UDC 504.054;66.074.5

M.T. Telmanov*, **B.Kh. Khussain**, **A.Kh. Khussain**, **A.R. Brodskiy**, 2024.

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: m.telmanov@ifce.kz

CREATION OF DIGITAL TWINS, INCLUDING THE DECARBONISATION MODULE, IN MODELLING AND VISUALISATION OF FLUE GAS CLEANING SYSTEMS IN INDUSTRIAL PLANTS

Telmanov Merlan Mirzhanovich – master student, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Khussain Bolatbek Khussainovich – professor of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Deputy Director General for Innovation Activities, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: b.khussain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Khussain Atabek Khussainovich – master student, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Brodskiy Alexander Rafaelevich – candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical Methods, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>;

Abstract: Digital twins are becoming an important tool for monitoring and optimizing industrial processes, especially in the field of gas emission cleaning. This paper discusses the process of creating a digital twin of a thermal power plant (TPP) emission cleaning system on the Unity platform. An analysis of the air pollution problem created by coal-fired CHP plants is provided and describes how the digital twin can help improve the efficiency of emissions cleaning. Unity is used to create a 3D model of the facilities and simulate the operation of the cleaning equipment with integration of real-time data. The visualization allows monitoring of system performance parameters, running simulations and optimizing cleaning equipment settings. Creation of a digital twin allows not only to control the state of the equipment, but also to train operators, minimizing the risks of emergency situations. The proposed approach can be applied to improve the environmental situation in various regions seeking to reduce pollutant emissions into the atmosphere.

Keywords: Digital twin, unity, emission control system, thermal power plant (TPP), coal-fired power plants, data visualization, simulation of industrial processes, reduction of pollutant emissions.

М.Т. Тельманов*, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, 2024.

Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты,
Алматы, Қазақстан.
E-mail: m.telmanov@ifce.kz

ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ МОДУЛІМЕН БІРГЕ ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН ГАЗДАРЫН ТАЗARTU ЖҮЙЕЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ

Тельманов Мерлан Миржанович – магистрант, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Хусаин Болатбек Хусаинович – ф.ғ.д., ҚРҰ ғылым академиясының профессоры Бас директордың инновациялық қызмет жөніндегі орынбасары, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Хусаин Атабек Хусаинович – магистр, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Бродский Александр Рафаэлевич – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, физикалық әдістер зертханасының меңгерушісі, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>.

Аннотация: Цифрлық егіздер өнеркәсіптік процестерді, әсіресе газ шығарындыларын өңдеу саласында мониторинг пен оңтайландырудың маңызды құралына айналууда. Бұл мақалада Unity платформасында жылу электр станциясының (ЖЭО) шығарындыларын тазарту жүйесінің цифрлық егізін құру процесі талқыланады. Ол көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станциялары тудыратын ауаның ластану мәселесін талдайды және сандық егіздің шығарындыларды тазарту тиімділігін арттыруға қалай көмектесетінін сипаттайды. Unity объектілердің 3D моделін жасау және нақты уақыт деректерін біріктіру арқылы ағынды суларды тазарту жабдығының жұмысын модельдеу үшін қолданылады. Визуализация жүйенің жұмыс параметрлерін бақылауға, модельдеуді жүргізуге және өңдеу жабдығының параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Цифрлық егізді құру жабдықтың жай-күйін бақылауға ғана емес, сонымен қатар төтенше жағдайлардың қаупін барынша азайта отырып, операторларды оқытуға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл атмосфераға ластаушы заттардың шығарындыларын азайтуға ұмтылатын әртүрлі аймақтардағы экологиялық жағдайды жақсарту үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Цифрлық егіз, unity, эмиссияны тазарту жүйесі, термиялық электр станциясы (ЖЭО), көмірмен жұмыс істейтін электр станциялары, деректерді визуализациялау, өндірістік процестерді модельдеу, ластаушы заттардың шығарындыларын азайту.

М.Т. Телманов*, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, 2024.

Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского,

Алматы, Казахстан.

E-mail: m.telmanov@ifce.kz

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЯ МОДУЛЬ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тельманов Мерлан Миржанович – магистрант, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», г. Алматы, Казахстан, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Хусаин Болатбек Хусаинович – к.т.н., профессор НАН РК Заместитель генерального директора по инновационной деятельности, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В.Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Хусаин Атабек Хусаинович – магистр, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Бродский Александр Рафаэлевич – кандидат химических наук, доцент, Заведующий лабораторией физических методов, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», г. Алматы, Казахстан, E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>.

Аннотация: Цифровые двойники становятся важным инструментом для мониторинга и оптимизации промышленных процессов, особенно в сфере очистки газовых выбросов. В данной статье рассматривается процесс создания цифрового двойника системы очистки выбросов тепловой электростанции (ТЭЦ) на платформе Unity. Приводится анализ проблемы загрязнения воздуха, создаваемого ТЭЦ, работающих на угле, и описывается, как цифровой двойник может способствовать повышению эффективности очистки выбросов. Unity используется для создания трехмерной модели объектов и симуляции работы очистного оборудования с интеграцией данных, получаемых в реальном времени. Визуализация позволяет отслеживать параметры работы системы, проводить симуляции и оптимизировать настройки очистного оборудования. Создание цифрового двойника позволяет не только контролировать состояние оборудования, но и обучать операторов, минимизируя риски аварийных ситуаций. Предложенный подход может быть использован для улучшения экологической ситуации в различных регионах, стремящихся к снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Ключевые слова: цифровой двойник, Unity, система очистки выбросов, тепловая электростанция (ТЭЦ), угольные электростанции, визуализация данных, симуляция промышленных процессов, снижение выбросов загрязняющих веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе целевого финансирования МОН РК ИРН BR21882241 «Исследование и разработка

комплексной системы улавливания и хранения CO₂ на промышленных объектах Республики Казахстан для сокращения выбросов парниковых газов».

Введение

Тепловые электростанции (ТЭЦ), работающие на ископаемом топливе, играют ключевую роль в обеспечении теплом и электроэнергией потребителей Казахстана, однако их работа сопровождается значительными загрязняющими выбросами в атмосферу. В 2006 году объем выбросов составлял 4,85 тыс. тонн, а к 2018 году эта цифра увеличилась до 10,4 тыс. тонн. При этом ТЭЦ-2 (г. Алматы) в 2016 году выбросила 11% всех загрязнителей воздуха в регионе (Moldagazyeva, et al, 2021).

Проблема загрязнения воздуха особенно актуальна в связи с воздействием на здоровье населения и окружающую среду. На предприятиях, использующих различные виды сырья, формируется широкий спектр загрязнителей, включая эфиры уксусной кислоты, формальдегид, нафталин и многие другие вещества. Эти выбросы значительно ухудшают качество воздуха, что создает необходимость в поиске и внедрении технологий для их сокращения.

Проблему можно решить через декарбонизацию, используя мультимодульные системы (Khussain, et al, 2024), которые включают модули предварительной очистки дымовых газов, а также системы для улавливания, сбора и утилизации выбросов от тепловых устройств, работающих на ископаемом топливе. Модули предварительной очистки являются необходимыми, поскольку дымовые газы содержат не только диоксид углерода, но и множество других вредных веществ, включая пылевые частицы различной дисперсии. После предварительной очистки полученный чистый диоксид углерода можно использовать в тепличных хозяйствах, производстве соды, в пищевой промышленности, а также для производства метанола, удобрений и других продуктов.

Вместе с тем, создания систем очистки, включая декарбонизацию, требуют больших капитальных вложений, что обусловлено сложностью их проектирования и привязки к конкретным объектам. Существенно снизить затраты возможно путём использования информационных технологий.

Развитие современных информационных технологий в производстве связано с активным внедрением теории и практики цифровых двойников (Radhakisan, et al, 2011). Традиционные подходы к проектированию, такие как имитационные и корреляционные модели, постепенно уступают место более технологичным методам описания реального мира в цифровой среде. Например, цифровой двойник максимально точно отражает сложность объекта, прогнозируя его свойства, функции и поведение, а также реакцию на различные внешние воздействия и взаимодействие с другими цифровыми двойниками, отображая поведение объектов в реальной среде (Rosen, et al, 2015).

За последние годы интерес к цифровым двойникам значительно возрос, что подтверждается увеличением числа научных публикаций, описывающих концепции и методы применения цифровых двойников, таких как компьютерное интегрированное производство (Computer-Integrated Manufacturing, CIM) (Laengle,

et al, 2018), информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) (Abramovici, et al, 2017), мониторинг состояния оборудования и механизмов (Ayani, et al, 2018), а также виртуальные производственные системы (Baruffaldi, et al, 2019). Концепция CIM рассматривается как предшественник теорий и практического использования цифровых двойников. СИМ-модели способны точно моделировать объекты реального мира, обеспечивая высокую точность их описания и эффективное представление процессов, в которых эти объекты участвуют.

Как отмечается в (Radhakisan, et al, 2011), ключевой особенностью цифровых двойников является тесное взаимодействие между физическими объектами и их цифровыми аналогами. Электромеханические системы могут быть преобразованы в цифровые, что значительно упрощает моделирование и управление процессами не только в производстве, но и в других сферах.

Главная цель цифрового двойника - улучшение понимания работы реальных объектов и оптимизация их работы за счет моделирования различных сценариев и условий эксплуатации. С помощью цифрового двойника можно заранее предсказать возможные сбои, оптимизировать процессы, а также улучшить эффективность управления оборудованием и ресурсами.

В контексте очистки выбросов промышленных предприятий цифровой двойник позволяет воспроизвести весь процесс в виртуальной среде, оценить эффективность различных технологий очистки и протестировать их в условиях, максимально приближенных к реальности. Это особенно актуально для таких сложных объектов, как ТЭЦ, где множество факторов влияют на выбросы и их состав.

Материалы и основные методы

Для создания цифрового двойника применялась платформа Unity. Это универсальная платформа для разработки 3D-симуляций и игр, нашедшая широкое применение не только в индустрии развлечений, но и в промышленности. Одним из ключевых направлений использования Unity стало создание цифровых двойников - интерактивных виртуальных моделей реальных объектов и систем. С её помощью возможно визуализировать данные в реальном времени и эффективно управлять процессами, что значительно облегчает мониторинг и оптимизацию работы оборудования.

Процесс разработки цифрового двойника состоит из нескольких ключевых этапов:

На первом этапе выбираются целевые объекты, которые будут включены в цифровую модель. Для системы очистки выбросов — это такие элементы, как электрофильтры, катализаторы, эмульгаторы и блоки для сбора углекислого газа (CO₂).

Далее, с использованием программы Blender создаются трехмерные модели. Они проектируются с учетом реальных размеров, пропорций и функциональных особенностей, чтобы максимально точно отразить внешний вид и структуру объектов.

После завершения моделирования модели экспортируются в формате, совместимом с Unity (например, FBX), и импортируются в целевую среду. В Unity проводится оптимизация моделей для повышения производительности симуляции. Это включает снижение количества полигонов для второстепенных объектов, настройку уровней детализации (LOD), а также использование текстур с оптимальным разрешением.

На модели накладываются ограничения, отражающие их физические свойства. Применяются карты нормалей и отражений для создания реалистичного взаимодействия света с поверхностями. После этого добавляются анимации, позволяющие демонстрировать работу объектов, например, движение фильтров, работу катализаторов или процессы сборки CO₂.

Следующий этап – интеграция с математическими моделями, описывающими физические и химические процессы. Это позволяет синхронизировать визуальные элементы с данными, поступающими в реальном времени, и проводить точное моделирование работы оборудования.

Завершающим шагом является тестирование и отладка, чтобы убедиться в функциональности модели, ее точности и соответствии реальным объектам. Такой процесс разработки позволяет создавать реалистичные цифровые двойники, которые используются как для обучения операторов, так и для анализа и оптимизации работы системы очистки в целом.

Результаты и обсуждение

Электрофильтр - визуализирован как цилиндрический блок с внутренними пластинами, которые имитируют процесс осаждения частиц за счет электрического заряда.

Результаты моделирования:

Анимация притягивания частиц к пластинам при включении электрофильтра.

Графическое отображение накопления частиц и их удаления.

Возможность регулировать параметры, такие как напряжение и скорость потока, с изменением эффективности фильтрации в реальном времени.

Катализатор - визуализирован как прямоугольный блок с пористыми внутренними структурами, через которые проходят газы.

Результаты моделирования:

Анимация движения молекул через пористую структуру катализатора.

Реализация химических реакций с изменением состава газа (например, превращение NO_x в безвредные N₂ и O₂).

Визуализация снижения концентрации вредных веществ на выходе.

Эмульгатор – Визуализирован как устройство с вращающимся элементом для перемешивания газа с жидкостью.

Результаты моделирования:

Анимация смешивания газов с жидкой средой.

Симуляция изменения цвета эмульсии в зависимости от насыщенности газом.

Визуализация процессов связывания вредных веществ, таких как SO₂.

Блок сбора CO₂ - система, включающая абсорбер и резервуар для сбора CO₂.

Результаты моделирования:

Анимация потока газа через абсорбер, где CO₂ связывается специальным раствором.

Визуализация накопления CO₂ в резервуаре.

Возможность анализа данных в реальном времени, включая количество собранного CO₂ и эффективность процесса.

Общий процесс - вся система смоделирована как единый технологический поток.

Результаты моделирования:

Визуализация последовательного прохождения выбросов через все этапы очистки.

Возможность изменять параметры (например, скорость потока или температуру) и наблюдать за их влиянием на эффективность.

Анимация работы всей системы с реалистичной физикой и динамикой.

Визуальные и функциональные результаты:

Графика - детализированные 3D-модели с текстурами и реалистичным освещением.

Интерактивность - возможность взаимодействия с каждым объектом (например, настройка параметров или включение/выключение).

Данные: - отображение данных в реальном времени, таких как эффективность фильтрации, объем собранного CO₂ и химический состав выбросов на каждом этапе.

Обучение и анализ: - использование цифрового двойника для обучения операторов и тестирования различных сценариев работы системы.

Таким образом, процесс моделирования позволяет достичь высокой точности и наглядности, делая цифровой двойник полезным инструментом как для оптимизации работы системы, так и для обучения

Математические модели

Выражения, необходимые для построения реалистичных симуляций в Unity:

Массовый баланс используется для описания движения вещества через систему и помогает определить количество загрязняющих веществ на каждом этапе

$$\sum_{\text{вход}} m_{\text{вход}} = \sum_{\text{выход}} m_{\text{выход}} + m_{\text{накопление}} \quad (1)$$

где m - масса загрязняющих веществ, входящих в систему, выходящих из нее и накапливающихся на различных этапах. Этот баланс помогает установить равновесие системы и оценить эффективность фильтров.

Энергетический баланс, позволяет учитывать количество энергии, необходимое для работы системы и поддержания процессов фильтрации и улавливания газа

$$Q_{\text{вход}} + W_{\text{вход}} = Q_{\text{выход}} + W_{\text{выход}} + \Delta E \quad (2)$$

где Q — количество тепла, W — работа, и E — изменение внутренней энергии системы.

- закон Кулона для точечного заряда, описывает силу, с которой взаимодействуют два точечных заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (3)$$

где E — напряженность электрического поля (В/м), q — величина точечного заряда (Кл), r — расстояние от заряда до точки, в которой измеряется поле (м), ϵ_0 — электрическая постоянная, приблизительно равная 8.85×10^{-12} Ф/м.

Уравнение Пуассона для описания распределения электрического потенциала ϕ в пространстве, создаваемого электродами, если в пространстве присутствует объемный заряд с плотностью ρ , уравнение Пуассона принимает вид:

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

где $\nabla^2 \phi$ — лапласиан потенциала, описывающий кривизну потенциала в пространстве, ρ — плотность заряда (Кл/м³), ϵ_0 — электрическая постоянная (8.85×10^{-12} Ф/м).

Скорость химических реакций (каталитическая очистка) с моделированием движения воздушного потока в пространстве, для расчета движения частиц или потоков вокруг электродов и в системе очистки, применялось уравнение Навье-Стокса

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} * \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \quad (5)$$

где: ρ - плотность жидкости или газа (кг/м³), \vec{v} - скорость потока (м/с), $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ — производная скорости по времени, ∇p — градиент давления (Н/м²), μ — коэффициент динамической вязкости (Па·с), $\nabla^2 \vec{v}$ — лапласиан скорости, учитывающий вязкость потока, \vec{f} — внешние силы, приложенные к потоку, например, сила тяжести.

Скорость потока (U) и число Рейнольдса (Re), используются выражения
Средняя скорость потока U :

$$U = \frac{4V}{3600\pi D^2} \quad (6)$$

где: V — объёмный расход (м³/ч), D — диаметр трубы (м), $\pi \approx 3.14159$.
число Рейнольдса Re

$$Re = \frac{U * D * \rho}{\eta} \quad (7)$$

где: U — средняя скорость потока (м/с), D — характерный размер, обычно диаметр трубы (м), ρ — плотность воздуха или газа (кг/м^3), η — динамическая вязкость ($\text{Па}\cdot\text{с}$).

Число Рейнольдса является важным параметром, определяющим режим потока: ламинарный или турбулентный. Значение $Re < 2300$ указывает на ламинарный поток, тогда как $Re > 4000$ — на турбулентный.

Создание схем

На этапе создания цифрового двойника в Unity, разработка схем позволяет структурировать и визуализировать весь процесс работы очистных систем. Схемы упрощают понимание сложных технологических процессов и помогают отобразить ключевые элементы системы. Были разработаны две основные схемы, каждая из которых выполняет свою роль в описании работы системы:

На рисунке 1 приведена общая схема комплекса очистки дымовых газов

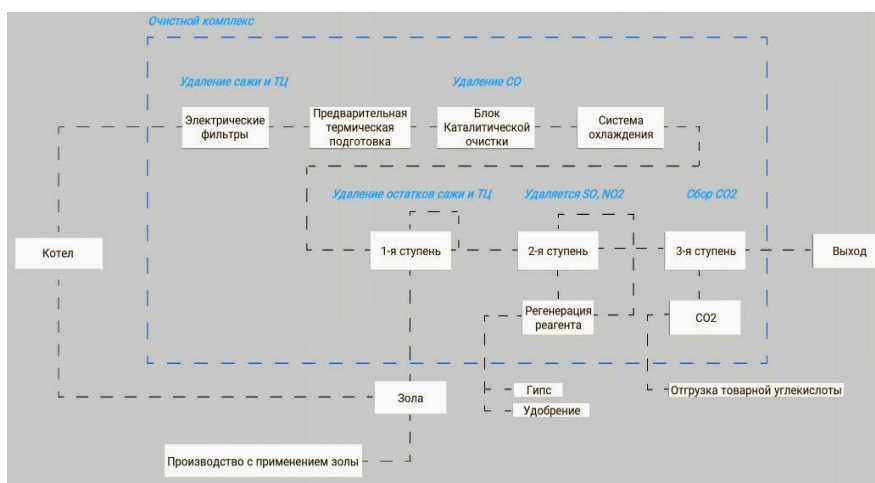


Рисунок 1 - Общая схема комплекса очистки дымовых газов

Эта схема (рисунок 1) отражает общую структуру очистного комплекса, начиная от подачи газа из теплового устройства (котла) и заканчивая его выходом после очистки. На схеме выделены все ключевые элементы, участвующие в процессе очистки дымовых газов.

Электрические фильтры - удаляют сажу и твердые частицы из газов, выходящих из котла.

Блоки предварительной термической подготовки - подготавливают газ к дальнейшему очищению, снижая его температуру и обеспечивая оптимальные условия для следующих этапов.

Блоки каталитической очистки - служат для удаления монооксида углерода (CO) и других токсичных компонентов с использованием катализаторов.

Системы охлаждения - обеспечивают снижение температуры газа перед поступлением в дальнейшие стадии очистки.

Этапы удаления серы (SO) и диоксида азота (NO₂) - выполняются в несколько стадий, обеспечивая высокую степень очистки от загрязняющих веществ.

Сбор CO₂ - - осуществляется на финальной стадии, где углекислый газ выделяется из газового потока для последующей обработки и использования в производственных процессах.

Схема (рисунок 1) позволяет визуализировать взаимодействие всех компонентов системы и наглядно показать изменение условий на одном из этапов может повлиять на весь процесс.

На рисунке 2 более детально показана схема модуля декарбонизации.

Схема, приведённая на рисунке.2 детализирует процесс извлечения углекислого газа из потока дымовых газов. Она иллюстрирует процесс сбора CO₂ и какие элементы оборудования участвуют в этом процессе. На схеме отражены:

- два адсорбера, которые поочерёдно подключаются к процессу поглощения углекислого газа, а после насыщения также поочерёдно происходит их регенерация со сбором и утилизацией CO₂;

- система управления клапанами - регулируют поток газа между адсорберами, клапаны помогают направлять поток в зависимости от того, какой адсорбер в данный момент активен;

- компрессоры - сжимают очищенный газ, работая на нескольких стадиях постепенно повышая давление газа, обеспечивая оптимальные условия для последующего отделения и утилизации CO₂;

- блок конденсации – обеспечивает охлаждение сжатого газового потока и конденсация водяного пара, отделяя воду от CO₂;

- отвод очищенного CO₂ - направляется на дальнейшую обработку и утилизацию.

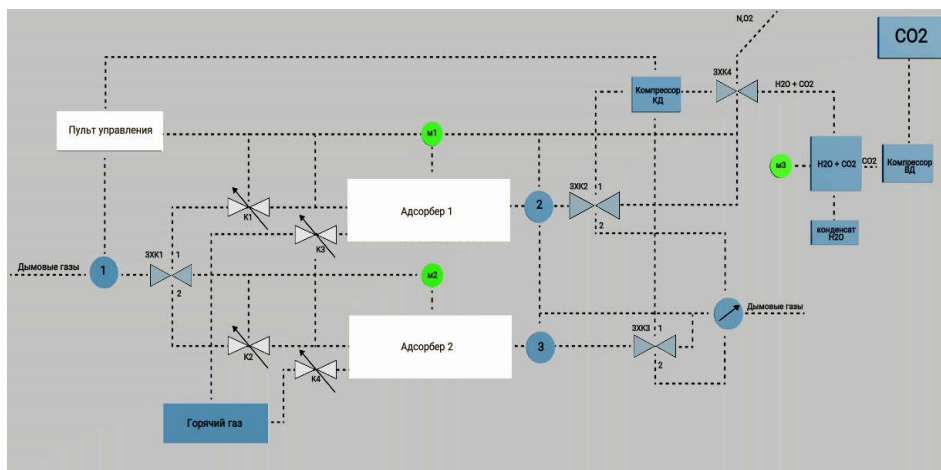


Рисунок 2 – Схема модуля декарбонизации

Схема (рисунок 2) показывает, как происходит извлечение углекислого газа на каждой стадии, какие параметры регулируются (давление, температура) и как

взаимодействуют между собой компоненты модуля декарбонизации. Эта схема помогает более точно анализировать эффективность работы модуля и вносить необходимые изменения в виртуальной модели, прежде чем внедрять их на реальном объекте.

Интеграция с данными реального времени.

Интеграция с данными реального времени - ключевой этап создания цифрового двойника, обеспечивающий связь между виртуальной моделью и физическим объектом. Этот процесс включает несколько взаимосвязанных этапов:

Подключение датчиков

На физическом оборудовании устанавливаются датчики, которые собирают данные о параметрах работы системы. Это могут быть показатели температуры, давления, концентрации загрязняющих веществ, скорости потоков и другие параметры. Так, в системе очистки выбросов датчики могут измерять концентрацию CO₂ на каждом этапе очистки, температуру газового потока и эффективность фильтрации.

Передача данных в реальном времени

Собранные датчиками данные передаются через сеть (локальную или облачную) в систему управления. Для интеграции с Unity эти данные могут быть переданы в формате JSON, XML или через API, разработанный специально для конкретной установки. Unity поддерживает взаимодействие с внешними источниками данных через такие протоколы, как REST или WebSocket, что позволяет обеспечить надежный обмен данными в режиме реального времени.

Обработка данных в Unity.

Данные, поступающие от датчиков, обрабатываются внутри «игрового» движка. Для этого создаются скрипты на C#, которые принимают входящие значения и преобразуют их для работы с визуальными и симуляционными компонентами. Например, изменение температуры в реальном оборудовании может динамически менять цветовую гамму объекта в Unity (тепловую карту) или влиять на скорость движения потока частиц в анимации.

Синхронизация параметров с виртуальными объектами

Параметры, полученные в реальном времени, напрямую связываются с компонентами модели в Unity. Например:

Данные о концентрации CO₂ обновляют показатели в информационных панелях, отображаемых пользователю.

Изменения давления в системе анимируют работу клапанов или компрессоров.

Реальные измерения температуры визуализируются в виде градиента теплового излучения на трубах и фильтрах.

Создание интерфейса для мониторинга

Unity позволяет разрабатывать удобные интерфейсы для визуализации данных. На экране оператора отображаются актуальные показатели, которые обновляются в реальном времени. Для удобства мониторинга могут быть созданы интерактивные графики, схемы и предупреждения о выходе параметров за допустимые пределы.

Реализация симуляции на основе данных

Данные реального времени используются для запуска симуляций в виртуальной среде. Например, если датчики обнаруживают повышение концентрации CO_2 , цифровой двойник может предсказать, как это повлияет на эффективность системы очистки и предложить оптимальные настройки оборудования. Такие симуляции позволяют анализировать возможные сценарии без риска для реального оборудования.

Обратная связь с физической системой

При необходимости цифровой двойник может передавать данные обратно в реальное оборудование, автоматизируя корректировку его работы. Например, при обнаружении снижения эффективности фильтров система может автоматически предложить изменение потока газа или температуру, что будет применено в реальной установке.

Обеспечение безопасности данных

Для работы с данными реального времени важна защита информации. В системе интеграции используются методы шифрования, контроля доступа и резервного копирования, чтобы избежать несанкционированного доступа или потери данных.

Таким образом, используемый подход обеспечивает непрерывное обновление состояния виртуальной модели, что делает цифровой двойник не только инструментом визуализации, но и мощным средством анализа, оптимизации и управления процессами

Симуляция процессов и анализ данных

Симуляция процессов и анализ данных - один из наиболее важных этапов работы с цифровыми двойниками, который позволяет виртуально моделировать различные сценарии работы системы, анализировать их и принимать оптимальные решения. Этот процесс включает несколько ключевых шагов:

Создание сценариев симуляции

На основе данных, поступающих от реальной системы или заданных вручную, разрабатываются сценарии, которые воспроизводят различные условия работы. Например, в системе очистки выбросов можно моделировать:

Изменения скорости потока газа.

Снижение эффективности электрофильтров из-за загрязнений.

Аварийные ситуации, такие как перегрев или утечка газа.

Использование физических моделей

Для симуляции процессов применяются математические и физические модели, описывающие реальные явления. Например:

Массовый и энергетический балансы — для расчета движения вещества и энергии через систему.

Законы аэродинамики — для моделирования потока газа, используя уравнения Навье-Стокса.

Химические реакции — для анализа эффективности каталитической очистки газов.

Эти расчеты реализуются в Unity с помощью скриптов на C#, которые динамически обновляют параметры симуляции.

Визуализация процессов

Симуляция становится наглядной благодаря визуальным эффектам. Unity позволяет отображать:

Потоки газа в виде частиц с анимацией, демонстрирующей их направление и скорость.

Изменение концентрации веществ, используя тепловые карты или градиенты цвета.

Движение компонентов системы, таких как клапаны, компрессоры или фильтры.

Проведение анализа данных

Для создания дашбордов в Google Sheets данные организуются в таблицах, где они группируются по категориям. Это могут быть временные ряды (например, связь показателей с временными метками) или агрегированные результаты, такие как средняя концентрация CO₂ за сутки. Для упрощения работы с данными создаются отдельные вкладки для различных типов информации, таких как «Эффективность фильтров», «Температура системы» или «Поток газа».

Используются формулы и сводные таблицы для вычисления ключевых показателей. Например, средняя эффективность системы рассчитывается с помощью формулы =AVERAGE (range), а изменения параметров - с использованием разности текущего и предыдущего значений. Сводные таблицы помогают структурировать и анализировать данные, группируя их по временным интервалам, дате или типу процесса.

Для визуализации информации в Google Sheets создаются диаграммы. Линейные графики используются для отслеживания изменений параметров с течением времени, столбчатые диаграммы — для сравнения эффективности на разных стадиях, а круговые — для анализа распределения энергозатрат. Эти графики настраиваются с учетом цветов, подписей и легенд, чтобы сделать данные более понятными.

На отдельной вкладке объединяются ключевые элементы, такие как графики и таблицы, в форме визуального дашборда. Для лучшего восприятия добавляются текстовые аннотации, отметки о превышении допустимых норм и указания на отклонения. Такой подход позволяет быстро анализировать данные и выявлять важные тенденции.

Для подготовки данных для симуляции в Unity собирается информация, поступающая от датчиков или моделируемая в «движке», например, концентрация CO₂, скорость потоков и температура. Эти данные фиксируются в виде массивов или таблиц и могут быть сохранены локально либо отправлены в облачное хранилище для дальнейшего анализа. Unity позволяет экспортировать данные в Google Sheets, используя API-интерфейсы или интеграцию с Google Sheets API for Unity. С помощью этой библиотеки данные, такие как показатели температуры, давления и эффективности фильтров, передаются в заданные диапазоны таблиц.

Формат отправки данных в Google Sheets через Unity:

```
using Google.Apis.Sheets.v4;  
using Google.Apis.Sheets.v4.Data;
```

Формат отправки данных в Google Sheets:

```
private void SendDataToGoogleSheet(string spreadsheetId, string range,  
IList<IList<object>> data){var request = new ValueRange { Values = data };  
var updateRequest = sheetsService.Spreadsheets.Values.Update(request,  
spreadsheetId, range);  
updateRequest.ValueInputOption = SpreadsheetsResource.ValuesResource.  
UpdateRequest.ValueInputOptionEnum.RAW;  
var response = updateRequest.Execute();
```

Этот процесс позволяет эффективно синхронизировать данные из Unity с таблицами Google Sheets, что делает их доступными для анализа и визуализации.

Тестирование альтернативных решений

Симуляция позволяет виртуально протестировать различные настройки оборудования и технологии очистки. Например:

Оценить, как использование нового типа катализатора повлияет на эффективность.

Проверить, как изменение скорости потока газа повлияет на эффективность фильтрации и энергопотребление.

Моделировать различные сценарии, такие как рост концентрации CO₂ или выход из строя одного из компонентов.

Оптимизация процессов

На основе анализа данных выявляются узкие места и оптимальные параметры работы системы. Например:

Можно найти оптимальную температуру или давление для работы фильтров.

Определить, какой режим работы компрессоров минимизирует энергопотребление при максимальной эффективности.

Этот этап позволяет углубить понимание протекающих процессов, повысить их эффективность, минимизировать риски и обеспечить надежную работу системы очистки. Использование Unity как платформы для симуляции делает процесс интерактивным, визуально понятным и легким для анализа

Заключение

В работе подробно рассмотрен процесс построения и использования математических моделей, а также настройки взаимодействий и визуальных эффектов для наглядного отображения всех этапов процесса очистки дымовых газов промышленных предприятий. Использование Unity для разработки таких моделей позволяет не только улучшить визуальное представление работы системы очистки в целом, но и создать удобные инструменты для мониторинга и анализа

данных в реальном времени. Это, в свою очередь, поможет операторам и инженерам быстрее принимать обоснованные решения по улучшению функционирования системы, прогнозировать её поведение при различных сценариях работы и предотвращать потенциальные сбои.

Резюмируя, необходимо отметить, что создание цифровых двойников для систем очистки и улавливания углекислого газа (CO₂) в Unity открывает широкие перспективы для повышения эффективности промышленных процессов и улучшения экологической ситуации. С помощью цифровых моделей, подкрепленных физическими и химическими расчетами, возможно более точно симулировать сложные процессы, происходящие в установках для очистки газов, оценивать их производительность и определять возможности для оптимизации.

Применение цифровых двойников в области экологического инжиниринга и промышленных технологий имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Они позволяют исследовать и тестировать новые подходы к улавливанию CO₂ и другим процессам очистки, что способствует сокращению выбросов и поддержанию экологического баланса. В условиях глобальных усилий по снижению воздействия на окружающую среду, такие технологии должны стать неотъемлемой частью устойчивого развития промышленности и общества в целом.

В перспективе, дальнейшие исследования могут сосредоточиться на оценке энергозатрат и экономической эффективности, применении VR/AR для обучения и анализа, а также на интеграции с IoT для мониторинга состояния системы в реальном времени. Эти направления позволят повысить точность и полезность цифровых двойников для промышленного применения.

Литература

Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: применение эмуляции для восстановления машин // *Procedia CIRP*. 2018. V. 82. P. 243-248. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.139

Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Кастомизация системы управления складом и доступность информации в 3pl-компаниях: инструмент поддержки принятия решений // *Industrial Management & Data Systems*. 2019. V. 119. N 2. P. 251-273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033

В.Кh. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сас, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова Предварительная очистка выбросов тепловых устройств в технологии декарбонизации // Доклады национальной академии наук республики Казахстан. Том 1. Номер 349 (2024). С. 271-282. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.272>

Laengle S., Modak N.M., Merigó J.M., De La Sotta C. Thirty years of the international journal of computer integrated manufacturing: a bibliometric analysis // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. V. 31. N 12. P. 1247–1268. doi:10.1080/0951192X.2018.1529434

Радхакисан Б., Гилл Х. Киберфизические системы // Влияние технологий управления. 2011. P. 161-166.

Розен Р., Вихерт Г., Ло Г., Беттенхаузен К. Д. О важности автономии и цифровых двойников для будущего производства // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. V. 48. N 3. P. 567-572. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141

Абрамовичи М., Гёбель Ж.К., Саварино П. Реконфигурация умных продуктов на этапе их использования на основе виртуальных двойников продукта // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2017. V. 66. N 1. P. 165-168. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.042

Молдагазыева Ж.Ю., Жакан А., Аргынбай А. Международный научный журнал «Символ науки» // Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду. Том 4. (2021). С. 190-194.

References

- Radhakisan B., Gill H. Cyber-physical systems // *The Impact of Control Technology*. 2011. P. 161–166.
- Rosen R., Wichert G., Lo G., Bettenhausen K.D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. V. 48. N 3. P. 567–572. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141
- Laengle S., Modak N.M., Merigó J.M., De La Sotta C. Thirty years of the international journal of computer integrated manufacturing: a bibliometric analysis // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. V. 31. N 12. P. 1247–1268. doi:10.1080/0951192X.2018.1529434
- Abramovici M., Göbel J.C., Savarino P. Reconfiguration of smart products during their use phase based on virtual product twins // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2017. V. 66. N 1. P. 165–168. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.042
- Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: applying emulation for machine reconditioning // *Procedia CIRP*. 2018. V. 82. P. 243–248. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.139
- Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Warehouse management system customization and information availability in 3pl companies: a decision-support tool // *Industrial Management & Data Systems*. 2019. V. 119. N 2. P. 251–273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033
- Moldagazyeva J.Y., Zhakan A., Argynbai A., *International Scientific Journal 'symbol of science'* // *Environmental impact of thermal power plants* // Volume 4. (2021) P. 190 - 194.
- B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.R. Rakhmetova Preliminary treatment of thermal devices' emissions in decarbonization technology // *Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan* // Volume 1. Number 349 (2024), 271–282 // <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.272>

CONTENTS

PHYSICS

- A. Bekeshev, A. Mostovoy, M. Akhmetova, L. Tastanova**
RESEARCH ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS
INCORPORATING MODIFIED MINERAL FILLERS.....5
- G. Yensebaeva, I. Makhambayeva, A.Seitmuratov, K. Kanibaikyzy,
Z. Suleimenova**
PROBLEMS ON THE PROPAGATION OF HARMONIC WAVES UNDER
RHEOLOGICAL VISCOUS PROPERTIES OF A MATERIAL.....16
- A.A. Zhadyranova, V. Zhumabekova, U. Ismail, D. Nassirova**
EXPLORING THE POTENTIAL OF YUKAWA USING THE FIZO EFFECT.....33
- A. Istlyaup, L. Myasnikova, A. Lushchik**
COMPUTER SIMULATION OF THE DENSITY OF STATE NaX (X = F, Cl)
NANOOBJECTS.....49
- G.T. Omarova, Zh.T. Omarova**
TO THE ORBITAL DYNAMICS WITH VARIABLE ECCENTRICITY.....61
- A.V. Serebryanskiy, Ch.T. Omarov, G.K. Aimanova, M.A. Krugov**
SPECTRAL OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES AT THE
ASSY-TURGEN OBSERVATORY IN KAZAKHSTAN.....69
- A.K. Shongalova, A. Sailaubek, A.E. Kemelbekova**
OBTAINING BULK CRYSTALS OF ANTIMONY OXYCHLORIDE AND
STUDYING ITS STRUCTURAL CHARACTERISTICS.....82
- S.A. Shomshekova, L.K. Kondratyeva, I.M. Izmailova, C.T. Omarov**
INFRARED OBSERVATIONS OF SYMBIOTIC STARS FROM A CISLUNAR
ORBIT: OBJECTIVES AND PROSPECTS.....90

CHEMISTRY

- A. Abdullin, ©N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova**
INVESTIGATION OF CHEMICAL RESISTANCE OF ZINC-PHOSPHATE
CEMENT UNDER INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENTS.....103
- G. Baisalova, Zh. Tukhmetova, B. Torsykbaeva, A. Shukirbekova, Zh. Ussen**
CHEMICAL CONSTITUENTS OF HEXANE EXTRACT OF LYTHRUM
SALICARIA L. ROOTS.....115

- N. Bolatkyzy, A.B. Amangeldi, B.E. Dyusebaev, G.E. Berganayeva, M.A. Dyusebaeva**
STUDY OF AMINO ACIDS AND FATTY ACIDS IN THE COMPOSITION OF THE AERIAL PART OF RUBUS HYBRID.....125
- A.A. Duisenbay, E.K. Assembayeva, M.O. Kozhakhliyeva, D.E. Nurmukhanbetova, A.Zh. Bozhbanov**
PHYSICOCHEMICAL INDICATORS AND SAFETY OF SOURDOUGH BREAD.....135
- T.K. Jumadilov, G.T. Dyussebayeva, Zh.S. Mukatayeva, J.V. Gražulevicius**
INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL AND CONFORMATIONAL PROPERTIES OF INTERPOLYMER SYSTEMS OF CATIONITE KU-2-8 AND ANIONITE P4VP.....146
- V.N. Kryuchkov, I.V. Volkova, A.V. Mozharova, L.K. Seidaliyeva, F.K. Nurbayeva, K.A. Jumasheva**
MORPHOLOGY OF THE MESONEPHROS IN CARP UNDER EXPERIMENTAL INTOXICATION.....157
- M.K. Kurmanaliev, Zh.D. Alimkulova, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova**
NEW SORBENTS BASED ON TIACROWN ETHERS: PREPARATION AND APPLICATION FOR SILBER EXTRACTION.....168
- M.T. Telmanov, B.Kh. Khussain, A.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy**
CREATION OF DIGITAL TWINS, INCLUDING THE DECARBONISATION MODULE, IN MODELLING AND VISUALISATION OF FLUE GAS CLEANING SYSTEMS IN INDUSTRIAL PLANTS.....179

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова, Л. Тастанова
ТҮРЛЕНДІРІЛГЕН МИНЕРАЛДЫ ТОЛТЫРҒЫШТАР ҚОСЫЛҒАН
ЭПОКСИДТІК КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН
ЗЕРТТЕУ.....5

Г. Еңсебаева, И. Махамбаева, А. Сейтмұратов, Қ. Қанибайқызы, Ж. Сүлейменова,
МАТЕРИАЛДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ
ГАРМОНИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІ.....16

А.А. Жадыранова, В. Жумабекова, У. Исмаил, Д. Насирова
ФИЗО ЭФФЕКТИСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЮКАВА ПОТЕНЦИАЛЫН
ЗЕРТТЕУ.....33

А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик
NaX (X = F, Cl) НАНООБЪЕКТІЛЕРІНІҢ КҮЙ ТЫҒЫЗДЫҒЫН
КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ.....49

Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова
АЙНЫМАЛЫ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТІ БАР ОРБИТАЛЫҚ ДИНАМИКАҒА.....61

А.В. Серебрянский, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов
ҚАЗАҚСТАНДА АССЫ-ТҮРГЕН ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДА ГЕОТҰРАҚТЫ
СЕРІКТЕРДІҢ СПЕКТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫ.....69

А.Қ. Шонғалова, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова
СУРЬМА ОКСИХЛОРИДІНІҢ КӨЛЕМДІ КРИСТАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ
ОНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....82

С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров
АЙҒА ЖАҚЫН ОРБИТАДАҒЫ СИМБИОТИКАЛЫҚ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ
ИНФРАҚЫЗЫЛ БАҚЫЛАУЛАРЫ: МІНДЕТТЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ.....90

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова
МЫРҒЫШ-ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТІНІҢ АГРЕССИВТІ ОРТАНЫҢ ӘСЕРІНЕ
ХИМИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....103

Ғ. Байсалова, Ж. Тухметова, Б. Торсыкбаева, А. Шукирбекова, Ж. Усен
LYTHRUM SALICARIA L. ТАМЫРЛАРЫНЫҢ ГЕКСАНДЫ СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ
ХИМИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІ.....115

- Н. Болатқызы, А.Б Амангелді, Б.Е Дюсебаев, Г.Е Берганаева,
М.А Дюсебаева**
RUBUS HYBRID ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНІҢ ҚҰРАМЫНАН АМИН
ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ.....125
- А.А. Дуйсенбай, Э.К. Асембаева, М.О. Кожახиева, Д.Е. Нурмуханбетова,
А.Ж. Божбанов**
ҰЙЫТҚЫ ҚОСЫЛҒАН НАННЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ
МЕН ҚАУІПСІЗДІГІ.....135
- Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс**
КАТИОНИТ КУ-2-8 ЖӘНЕ АНИОНИТ П4ВП ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК
ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНФОРМАЦИЯЛЫҚ
ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....146
- В.Н. Крючков, И.В. Волкова, А.В. Можарова, Л.К. Сейдалиева,
Ф.К. Нурбаева, К.А. Джумашева**
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ИНТОКСИКАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ ТҰҚЫ
МЕЗОНЕФРОСЫНЫҢ МОРФОЛОГИЯСЫ.....157
- М.Қ. Құрманалиев, Ж.Д. Алимқұлова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Әбілқасова,**
ТИАКРАУН-ЭФИРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА СОРБЕНТТЕР: АЛУ ЖӘНЕ
КҮМІСТІ БӨЛУ ҮШІН ҚОЛДАНУ.....168
- М.Т. Тельманов, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский**
ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ МОДУЛІМЕН БІРГЕ
ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН ГАЗДАРЫН ТАЗАРТУ
ЖҮЙЕЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ.....179

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова, Л. Тастанова
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ
НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....5

**Г. Енсебаева, И. Махамбаева, А. Сейтмуратов, К. Канибайкызы,
Ж. Сулейменова**
ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ ВЯЗКИХ СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛА.....16

А.А. Жадыранова, В. Жумабекова, У. Исмаил, Д. Насирова
ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЮКАВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА
ФИЗО.....33

А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЯ
НАНООБЪЕКТОВ NaX (X = F, Cl).....49

Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова
К ОРБИТАЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ С ПЕРЕМЕННЫМ
ЭКЦЕНТРИСИТЕТОМ.....61

А.В. Серебрянский, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов
СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА
ОБСЕРВАТОРИИ АССЫ-ТУРГЕНЬ В КАЗАХСТАНЕ.....69

С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров
ИНФРАКРАСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД
С ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЫ: ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....82

А.К. Шонгалова, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова
ПОЛУЧЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ОКСИХОЛОРИДА СУРЬМЫ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....90

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ЦИНК-ФОСФАТНОГО
ЦЕМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНЫХ СРЕД.....103

- Г. Байсалова, Ж. Тухметова, Б. Торсыкбаева, А. Шукирбекова, Ж. Усен**
ХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ГЕКСАНОВОГО ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ
LYTHRUM SALICARIA L.....115
- Н. Болаткызы, А.Б Амангелди, Б.Е. Дюсебаев, Г.Е Берганаева,
М.А Дюсебаева**
ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ В
СОСТАВЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ *RUBUS HYBRID*.....125
- А.А. Дуйсенбай, Э.К. Асембаева, М.О. Кожахиева, Д.Е. Нурмуханбетова,
А.Ж. Божбанов**
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ХЛЕБА
С ЗАКВАСКОЙ.....135
- Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс**
ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И КОНФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ КАТИОНИТА КУ-2-8 И АНИОНИТА
П4ВП.....146
- В.Н. Крючков, И.В. Волкова, А.В. Можарова, Л.К. Сейдалиева,
Ф.К. Нурбаева, К.А. Джумашева**
МОРФОЛОГИЯ МЕЗОНЕФРОСА КАРПА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ИНТОКСИКАЦИИ.....157
- М.К. Курманалиев, Ж.Д. Алимкулова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова**
НОВЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТИАКРАУН-ЭФИРОВ: ПОЛУЧЕНИЕ И
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕРЕБРА.....168
- М.Т. Телманов, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский**
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЯ МОДУЛЬ
ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ
ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ.....179

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 13.12.2024.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

12,5 п.л. Тираж 300. Заказ 4.