

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№2  
2026**

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

2026 • 2



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

**Editor-in-Chief:**

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

**Editorial Board:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Periodicity: 4 times a year.

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

**Бас редактор:**

**ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакция ұжымы:**

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділулы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

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

**РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

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

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

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

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

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

**БОШКАЕВ Қуантай Авгазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

**БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

**ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

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

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

**ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнұтталайұлы**, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

**Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик МААН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960%3E>; <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

**Редакционная коллегия:**

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

**АДЕКЕНОВ Сергезы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО "Научно-производственного центра "Фитохимия" (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

**ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре**, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

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

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

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

Периодичность: 4 раза в год.

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

CONTENTS

PHYSICS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHEMISTRY

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

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

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

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

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

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

## ХИМИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES  
ISSN 2224-5227  
Volume 2.  
Number 358 (2026), 200–212

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.447>

UDC: 547.639.7+496.2 +314.2

IRSTI: 31.15.37

©Fazylov S.D.<sup>1\*</sup>, Syzdykov A.K.<sup>2</sup>, Pustolaikina I.A.<sup>3</sup>, Kazhmuratova A.T.<sup>3</sup>,  
Tazhibay A.M.<sup>3</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Karaganda National Research University named after academician E.A. Buketov,  
Karaganda, Kazakhstan.

\*E-mail: faz8990@mail.ru

## PRODUCTION OF $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -OLIGOSACCHARIDE CLATHRATE CYTISINE COMPLEXES

**Fazylov Serik** — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: faz8990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-6450>;

**Syzdykov Ardak** — PhD student, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan,

E-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9124-7821>;

**Pustolaikina Irina** — Candidate of chemical sciences, Professor, Karaganda National Research University named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: ipustolaikina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6319-666X>;

**Kazhmuratova Akerke** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Karaganda National Research University named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: kazhmuratova.a@karnu-buketov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4044-8419>;

**Tazhibay Aizhan** — Senior Lecturer, Karaganda National Research University named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,

E-mail: aizhan.maratovna93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8190-3647>.

**Abstract.** *Introduction, goals and objectives.* The article presents the results of a physicochemical study of the encapsulation of the alkaloid cytosine molecule with the oligosaccharide  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ -CD). The article discusses the formation of the specified alkaloid molecule in a 1:2 molar ratio with the  $\beta$ -dead-end sextrin of an inclusive complex compound that is soluble in water. With this ratio of components, the yield of the clathrate complex and the inclusion efficiency were  $65.43 \pm 0.35$  and  $78.11 \pm 0.56\%$ , respectively. The mechanism of thermal decomposition of the complex compound, the release of components, and the gradual cleavage of intermolecular bonds was demonstrated. The low binding energy of the complexing oligosaccharides was shown to be the most important and effective factor in the formation of complexes with cytosine molecules. *Methods.* The structural features of the inclusion complex were



studied using IR,  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR, and scanning electron microscopy. The formation of a clathrate complex of an alkaloid molecule with  $\beta$ -cyclodextrin was carried out using the HyperChem 8.0 computer program. The total energy of the studied systems was estimated using a semiempirical calculation of AM1. Molecular docking binding sites were determined using the AutoDock 4.2.6 modeling program, and calculations were performed using the Lamarckian Genetic Algorithm. *Results and discussion.* It has been shown that non-specific (dispersion and van der Waals) interactions play a crucial role in the formation of an alkaloid molecule complex with  $\beta$ -cyclodextrin.. The thermal decomposition of the alkaloid molecule complex with  $\beta$ -cyclodextrin is regulated by the mechanism of sequential breaking of chemical bonds and the release of the molecule from the  $\beta$ -cyclodextrin cavity. *Conclusion.* The kinetic parameters for the thermal decomposition of  $\beta$ -cyclodextrin and its clathrate with the substrate, obtained by various methods, are in satisfactory agreement and confirm the reliability of the obtained results.

**Keywords:** alkaloid cytisine, inclusion complex, clathrate,  $\beta$ -oligosaccharide, substrate, thermal decomposition

**For citations:** Fazylov S.D., Syzdykov A.K., Pustolaikina I.A., Kazhmuratova A.T., Tazhibay A.M. Production of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Oligosaccharide Clathrate Cytisine Complexes. *Academic Journal of Physical and Chemical Sciences.* 2026. No.2. Pp. 200–212. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.447>

©Фазылов С.Д.<sup>1\*</sup>, Сыздықов А.Қ.<sup>2</sup>, Пустолайкина И.А.<sup>3</sup>,  
Қажмұратова А.Т.<sup>3</sup>, Тәжібай А.М.<sup>3</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан;

<sup>2</sup>Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан;

<sup>3</sup>Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,  
Қарағанды, Қазақстан.

\*E-mail: faz8990@mail.ru

## ЦИТИЗИННІҢ $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -ОЛИГОСАХАРИДТЕРМЕН КЛАТРАТТЫ КЕШЕНДЕРІН АЛУ

**Фазылов Серік** — химия ғылымдарының докторы, профессор, академик, Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан,  
E-mail: faz8990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-6450>;

**Сыздықов Ардақ** — PhD студент, Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан,  
E-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9124-7821>;

**Пустолайкина Ирина** — химия ғылымдарының кандидаты, профессор, академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,  
E-mail: ipustolaikina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6319-666X>;

**Қажмұратова Акерке** — химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,  
E-mail: kazhmuratova.a@karnu-buketov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4044-8419>;

**Тәжібай Айжан** — аға оқытушы, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,  
E-mail: aizhan.maratovna93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8190-3647>.

**Аннотация.** *Кіріспе, мақсаты және нысандары.* Мақалада алкалоид цитизин молекуласының олигосахарид  $\beta$ -тұйықдекстринмен қапталуының физика-химиялық зерттеу нәтижелері келтірілген. Аталған алкалоид молекуласының  $\beta$ -тұйықдекстринмен 1:2 молярлық қатынаста суда еритін инклюзивті кешенді қосылыс түзілу ерекшеліктері қарастырылды. Компоненттердің осы қатынасында клатратты кешеннің түзілу өнімділігі және қосылу тиімділігі сәйкесінше  $65,43 \pm 0,35$  және  $78,11 \pm 0,56\%$  болды. Кешенді қосылыстың термиялық ыдырауы, компоненттердің бөлініп шығуы және молекулааралық байланыстардың біртіндеп үзілуі механизмі көрсетілді. Кешен түзуші олигоқанттар үшін байланысу энергиясының төмендігі, цитизин молекулаларымен кешен түзуде ең маңызды және тиімді агенттер екені көрсетілді. *Әдістеме.* Қосылу кешенінің құрылымдық ерекшеліктері ИҚ, ЯМР  $^1\text{H}$  және  $^{13}\text{C}$ , сканерлеуші электронды микроскопия әдістері көмегімен зерттелді. Алкалоид молекуласының  $\beta$ -тұйықдекстринмен клатратты кешен түзілуі компьютерлік HyperChem 8.0 бағдарламасы арқылы жүргізілді. Зерттелген кешенді жүйелердің жалпы энергиясы AM1 әдістемесінің жартылай эмпирикалық есептеуі арқылы бағаланды. Молекулалық докингтік байланысу орындары AutoDock 4.2.6 модельдеу бағдарламасы арқылы анықталып, есептеулер Lamarckian Genetic Algorithm алгоритмін қолдану негізінде орындалды. *Нәтижелер және талқылау.* Алкалоид молекуласының  $\beta$ -тұйықдекстринмен қосылу кешенінің түзілуінде өзіндік емес (дисперсиялық және ван-дер-Ваальс) өзара әрекеттесулер шешуші рөл атқаратыны көрсетілген. Дифференциалды сканерлеу калориметрін қолдана отырып алынған алкалоид молекуласының кешенінің термографиялық өлшеулерінің нәтижелері ұсынылды. Алкалоид молекуласының  $\beta$ -тұйықдекстринмен кешенінің термиялық ыдырауы химиялық байланыстардың тізбекті үзілу механизмімен және молекуланың  $\beta$ -тұйықдекстрин қуысынан бөлінуімен реттеледі. *Қорытынды.* Алкалоид молекуласының олигосахаридпен қапталуын зерттеу нәтижелері әртүрлі клатратты қосылыстар кешендерінің термиялық тотығуын зерттеуде және олардың ыдырау процестерінің кинетикалық параметрлерін анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** цитизин алкалоиды, инклюзивті кешен, клатрат,  $\beta$ -олигоқант, субстрат, термиялық ыдырау

©Фазылов С.Д.<sup>1\*</sup>, Сыздықов А.К.<sup>2</sup>, Пустолайкина И.А.<sup>3</sup>, Кажмуратова А.Т.<sup>3</sup>,  
Тажибай А.М.<sup>3</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Институт органического синтеза и углехимии, Караганда, Казахстан;

<sup>2</sup>Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан;

<sup>3</sup>Карагандский Национальный исследовательский университет имени академика  
Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан.

\*E-mail: faz8990@mail.ru

## ПОЛУЧЕНИЕ $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -ОЛИГОСАХАРИДНЫХ КЛАТРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИТИЗИНА

**Фазылов Серик** — доктор химических наук, профессор, академик, Институт органического синтеза и углехимии, Караганда, Казахстан,



E-mail: faz8990@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4240-6450>;

**Сыздыков Ардак** — PhD докторант, Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,

E-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9124-7821>;

**Пустолайкина Ирина** — кандидат химических наук, профессор, Карагандинский Национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: ipustolaikina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6319-666X>;

**Кажмуратова Акерке** — кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Карагандинский Национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: kazhmuratova.a@karnu-buketov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4044-8419>;

**Тажибай Айжан** — старший преподаватель, Карагандинский Национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,

E-mail: aizhan.maratovna93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8190-3647>.

**Аннотация.** В статье представлены результаты физико-химического исследования клатратных комплексов алкалоида цитизина с олигосахаридами, в частности с  $\beta$ -циклодекстрином. Рассмотрены особенности образования водорастворимого комплекса включения цитизина с  $\beta$ -циклодекстрином в молярном соотношении 1:2. Установлено, что выход клатратного комплекса и эффективность связывания при данном соотношении компонентов составляют  $65,43 \pm 0,35$  % и  $78,11 \pm 0,56$  % соответственно. Показан механизм термического разложения комплексного соединения, включающий высвобождение компонентов и последовательный разрыв межмолекулярных связей. Установлено, что низкая энергия связывания комплексообразующих олигосахаридов является одним из важных факторов, определяющих образование устойчивых комплексов с молекулами цитизина. Структурные особенности полученного комплекса изучены методами ИК-спектроскопии, ЯМР-спектроскопии  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , а также сканирующей электронной микроскопии. Компьютерное моделирование образования клатратного комплекса молекулы алкалоида с  $\beta$ -циклодекстрином выполнено с использованием программы NuregChem 8.0. Полная энергия исследуемых комплексных систем оценивалась на основе полуэмпирических расчётов методом AM1. Места связывания при молекулярном докинге определялись с помощью программы AutoDock 4.2.6, а расчёты выполнялись с использованием Lamarckian Genetic Algorithm. Показано, что при формировании комплекса цитизина с  $\beta$ -циклодекстрином решающую роль играют неспецифические дисперсионные и ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Представлены результаты термографических исследований комплекса цитизина, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Установлено, что термическое разложение комплекса цитизина с  $\beta$ -циклодекстрином протекает по механизму последовательного разрыва межмолекулярных взаимодействий и высвобождения молекулы алкалоида из полости  $\beta$ -циклодекстрина. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании термического окисления комплексов различных клатратных соединений, а также при определении кинетических параметров процессов их разложения.

**Ключевые слова:** алкалоид цитизин, комплекс включения, клатрат,  $\beta$ -олигосахарид, субстрат, термическое разложение

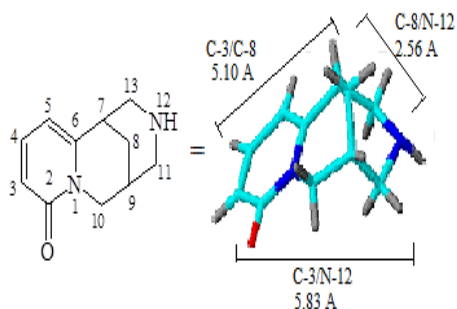
**Кіріспе.** SARS-CoV вирусының протеазасының жаңа тежегіштерін іздестіруде және жасауда маңызды синтон болып *Thermopsis lanceolata* шөбінде кездесетін белгілі алкалоид цитизинді (Цт) қарастыруға болады. Ол медицинада тыныс алуды жақсартуды тиімді аналептик ретінде қолданылады (Wolker et al., 2014; Prochaska et al., 2013). Жақында оның жаңа синтетикалық туындылары адамның тыныс алу жолдарына әсер ететін вирустарға қарсы цитотоксикалық қасиет көрсетті және вирустарды тежеуде H1N1, H3N2 және H5N2 кіші түрлерінің А, В/Ямагата және В/Виктория тектес В тұмауының вирустарына және 3 түрлі адам парагриппі вирусы үшін белсенділігін көрсетті. Цт-нің туындыларының тұмау вирусының көбеюінің әртүрлі сатыларына әсері зерттелді (Fedorova et al., 2021; Vakhitova et al., 2015). Цт-нің физиологиялық әсерінің жоғарыда аталған ерекшеліктері оның және қосылыс туындыларының COVID-19 вирусы протеазаларының және ACE2 рецепторының тиімді тежегіштерін іздеу мүмкіндігін көрсетеді. Дегенмен, оның өте жоғары уыттылығы ( $LD_{50}$ , 2 мг/кг) оның медициналық тәжірибеде кеңінен қолданылуына кедергі келтіреді. Сондықтан, оның табиғи тұйық декстриндермен (ТД) капсула түрінде қапталған және биофункционалды қасиеттері жақсартылған (ұзақ босатылатын және уыттылығы төмен) инклюзивті кешендерін әзірлеу қажет.

ТД-дер қазіргі кезде көптеген ғылыми шолу басылымдарының мағлұматы болып табылады. Сонымен бірге, олар жалпы ғылыми мақалалық шолуларда липосомалар мен нанобөлшектер сияқты белгілі бір жеткізу жүйелерінде де қолданыс табуда (Jansook et al., 2018; Loftsson et al., 2019). Әдеби деректерге сәйкес (Waleczek et al., 2003),  $\beta$ -ТД қуысына молекулалық салмағы 200 г/мольден 800 г/мольге дейінгі дәрілік заттар ыңғайлы үміткерлер болып табылады. Цт-нің молекулалық салмағы 190,24 г/моль, сондықтан оның молекуласы  $\beta$ -ТД-мен инклюзивті суда еритін кешенді қалыптастыруға жарамды болып келеді.  $\beta$ -ТД-нің өзінің қуыстық өлшемі 0.78 нм, ол медициналық және тамақ өнеркәсібінде қолдануға рұқсат етілген (E-459) (Martin, 2004). Цт-нің супрамолекулярлық кешендерін жасау оның ұзақ әсер ететін және төмен уыттылығы бар суда еритін жаңа формаларын жасауға мүмкіндік береді. Осы жұмыста біз Цт алкалоиды молекуласының ТД-дермен қапталуының физика-химиялық зерттеулері нәтижелерін ұсындық.

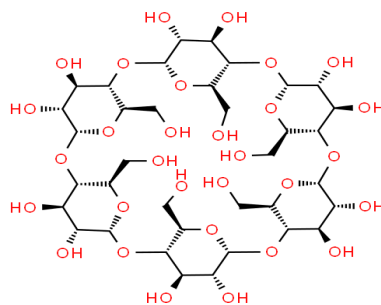
**Материалдар мен әдістер.** Цт: $\beta$ -ТД қосынды кешенін дайындау. Жұмыста келесі реагенттер қолданылды: цитизин - ақ түсті, кристалдар түріндегі қосылыс  $C_{11}H_{14}N_2O$  (Aldrich компаниясы);  $\beta$ -ТД - ақ кристалды зат (99,5%, Fluka компаниясы), балқу температурасы 270–290°C (ыдырау). Цт: $\beta$ -ТД (1:2) кешенді қосылысы тұндыру әдісімен алынды. Цт: $\beta$ -ТД (1:2) инклюзиялық кешені сулы-спирттік ортада еритін және 280–310°C температурада балкитын ақ кристалды ұнтақ түрінде алынды. Цт: $\beta$ -ТД (1:2) кешенімен алу тәжірибелері үш рет қайталанып,  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  температурада жүргізілді. Кешенді қосылыстың шығымы (Ш, %), қапталу тиімділігі (КТ, %) және «қонақ» молекуласының жүктемелігі (МЖ, %) бойынша есептелді (Qvist and Halle, 2008). Цт: $\beta$ -ТД (1:2) үшін келесі нәтижелер алынды: қапталған кешеннің шығымы (ҚШ, %) –  $65,43 \pm 0,35$ ; қосылыс тиімділігі (КТ, %) –  $78,11 \pm 0,56$ ; цитизин молекуласының жүктемесі (МЖ, %) –

8,36±0,22.  $\beta$ -ТД-ді, цитизиннің өзін және Цт: $\beta$ -ТД кешенді қосылыстың беткі морфологиясын TesconMira 3 LMN (Чехия) фирмасының сканерлеуші электрондық микроскопы (СЭМ) арқылы зерттелді. ИҚ-спектрлер Agilent Technologies (АҚШ) компаниясының Cary 600 сериялы ИҚ-Фурье-спектрометрінде 4000–400  $\text{cm}^{-1}$  диапазонында тіркелген. Үлгілер зерттелетін қосылыстар мен КВг қоспасынан 1:100 массалық қатынаста дайындалды.  $^1\text{H}$  және  $^{13}\text{C}$  қосылыстарының ЯМР-спектрлері Jnm-ECA Jeol 400 спектрометрінде (399,78 және 100,53 МГц, DMSO-d<sub>6</sub>) тіркелген. Цт: $\beta$ -ТД кешендерінің үлгілеріне (салмағы 12 мг) термиялық талдау дифференциалдық термогравиметрия (DTG) және дифференциалдық сканерлеуші калориметрия (DSC) әдістерімен «Setaram» фирмасының DTA/DSC калориметрінде (10 К/мин) жүргізілді. Цт : $\beta$ -ТД кешенінің молекулалық докинг зерттеулері AutoDock 4.2.6 және MGLTools 1.5.7 бағдарламаларының көмегімен орындалды. Молекулалық байланысу нүктелері AutoDock 4.2.6 модельдеу бағдарламасында жүзеге асырылып, Lamarckian Genetic Algorithm (LGA) есептеуі арқылы жүргізілді (Morris et al., 1998; Morris 2009). Химиялық құрылымдардың бірегей идентификаторлары (PubChem CID): 444913 ( $\alpha$ -ТД), 444041 ( $\beta$ -ТД), 5287407 ( $\gamma$ -ТД), 10235 (Цт). Цт: $\beta$ -ТД-нің инклюзиялық кешендерін молекулалық модельдеу HyperChem 8.0 бағдарламасында жартылай эмпирикалық AM1 әдісімен орындалды (HyperChem, 2021).

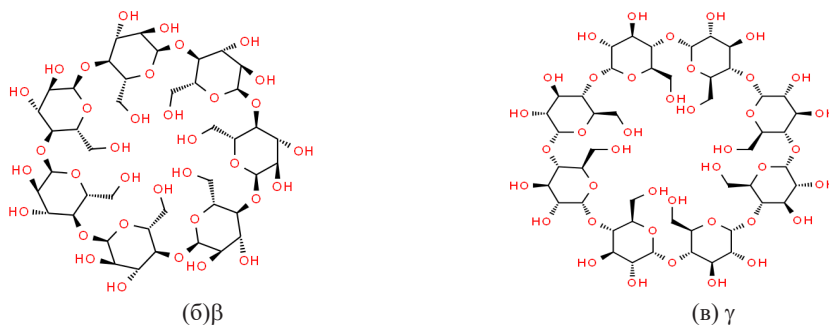
**Нәтижелер мен талқылаулар.** Цт молекуласының  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -олигокантиармен кешенді қосылыстарының түзілуі молекулалық докингі және модельдеу әдістемелерімен зерттелді. Молекулалық докинг әдісі бір молекуланың екіншісіне қатысты тұрақты кешен түзілуі кезін ғылыми тұрғыдан болжауға мүмкіндік береді. Сандық бағалау ретінде рецептор мен лиганд молекулалары арасындағы байланысу энергиясы пайдаланылды. AutoDock құралдарының көмегімен рецептор және лиганд молекулалары арасында сутектік байланыстардың болуын анықтау қызығушылық тудырды. Алдымен 1:1 қатынастағы кешенді қосылыстың ең жоғары байланысу энергиясын анықтау мақсатында  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ТД мен Цт молекуласына молекулалық докинг жүргізілді (1-4-суреттер). Жүргізілген докинг нәтижесінде Цт-нің кешен түзуші лиганда  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ТД рецепторларымен байланысу энергиясы бағаланды. Байланысу энергиясы келесі мәндерді көрсетті:  $\alpha$ -ТД – 6,40 ккал/моль;  $\beta$ -ТД – 6,05 ккал/моль;  $\gamma$ -ТД кешедері үшін – 4,66 ккал/моль.



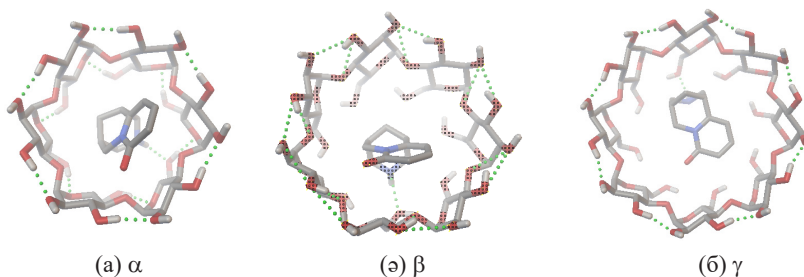
(a) Цт (PubChemCID 10235)



(a) a



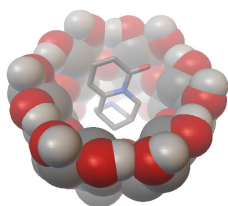
Сурет 1. Зерттеу нысандарының құрылымдық формулары.



Сурет 2. Цт-нің кешенді ТД-мен сутектік байланыстар жүйесі.

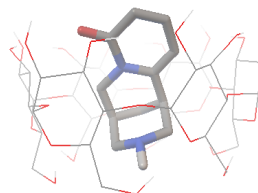
Айта кету керек,  $\alpha$ - және  $\beta$ -ТД үшін байланысу энергиясының мәні – 5,0 ккал/мольден төмен, бұл екі осы Цт молекулаларын ең маңызды кешен түзуші агенттер ретінде ерекшелейді. Цт алкалоидының көлемді молекуласының құрамында қанықпаған және қаныққан фрагменттердің, карбонил, амид және амин топтарының болуы оның ТД-мен кешенді қосылыс түзу қабілетін көрсетеді. Сонымен қатар, пиперидиндегі амин тобындағы сутегі атомы ТД молекуласының төменгі тар жиегіндегі ОН оттегі атомымен сутектік байланыс түзеді. Жалпы, молекулалық докинг нәтижелері және Цт мен  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ТД арасындағы байланысу энергияларын салыстыру кезінде Цт-нің  $\alpha$ - және  $\beta$ -ТД-мен кешен түзуінің энергетикалық тұрғыдан басым екенін көрсетті. Цт-нің  $\beta$ -ТД-мен қосылыстарын және Цт: $\beta$ -ТД кешенінің молекулалық модельдеуі HyperChem бағдарламасының көмегімен жартылай эмпирикалық AM1 әдісі бойынша орындалды (Wang et al., 2015; Fazylov et al., 2025).

жоғарыдан көрініс



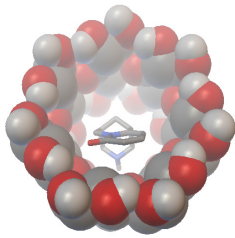
жоғарыдан көрініс

бүйірден көрініс

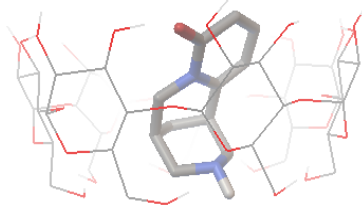


(а)α

бүйірден көрініс

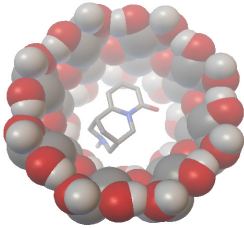


жоғарыдан көрініс

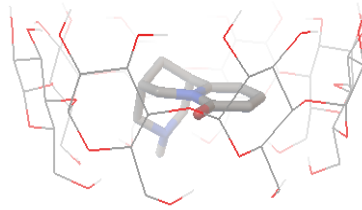


(ә)  $\beta$

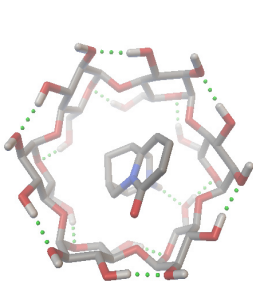
бүйірден көрініс



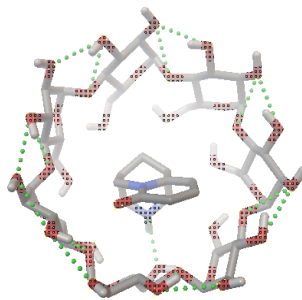
(б)  $\gamma$



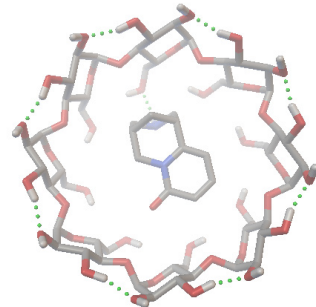
Сурет 3. ТД қолданылған модельдеу кезінде ең жоғары көрсеткішті алған түйістіру позициялары.



(a)  $\alpha$



(ә)  $\beta$



(б)  $\gamma$

Сурет 4. Цт-нің ТД-мен кешенді сутектік байланыстар жүйесі.

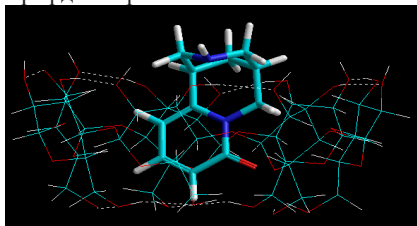
Цт молекуласының құрылымына сүйене отырып, оның  $\beta$ -ЦД-мен 1:1 қатынасында екі түрдегі кешенді қосылыс түзуі мүмкін деп болжауға болады:

– I түрі – Цт молекуласының қанықпаған  $\alpha$ -пиридон сақинасының ТД қуысына тереңірек енуіне байланысты;

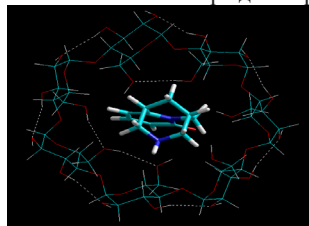
– II түрі – Цт молекуласының пиридин және пиперидин сақиналарының қаныққан жүйесінің ТД қуысына тереңірек енуіне байланысты.

5-суретте АМ1 жартылай эмпирикалық әдісін қолдана отырып сызбаларды оңтайландыру арқылы алынған 1:1 қатынасындағы Цт-нің  $\beta$ -ТД-мен кешенді қосылыс құрылымы көрсетілген. Нүктелі сызықтар сутектік байланыстарды көрсетеді.

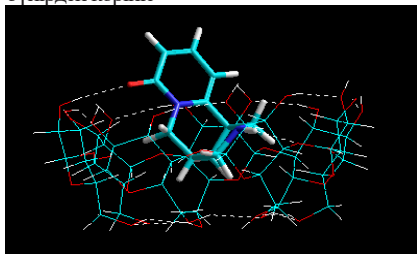
бүйірден көрініс



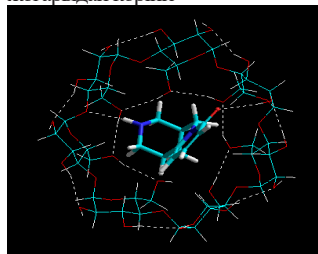
жоғарыдан көрініс

а) I түрі:  $E_{\text{толық}} = -458977,6011$  ккал/моль;  $\mu = 7,813$  Дебай

бүйірден көрініс



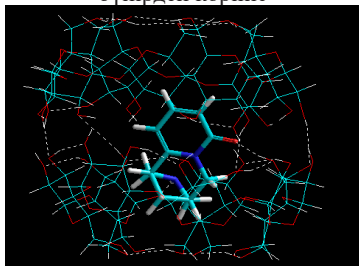
жоғарыдан көрініс

ә) II түрі:  $E_{\text{толық}} = -458981,8409$  ккал/моль;  $\mu = 6,417$  Дебай

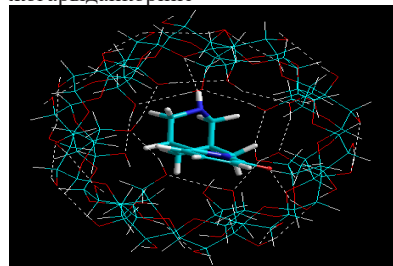
Сурет 5. Цт:β-ТД кешенінің 1:1 қатынасындағы оңтайландырылған құрылымы. Нүктелі сызықтар арқылы сутектік байланыстар көрсетілген.

5-суретте көрсетілген мәліметтерге сүйенсек, Цт:β-ТД (1:1) кешенінің II түрі термодинамикалық тұрғыдан  $\Delta E = 4,24$  ккал/моль мәнге тұрақтырақ болып табылады. Бұл II қосылыстың түрінде Цт және ТД арасында екі сутектік байланыс болуымен байланысты, ал I түріндегі кешенде мұндай байланыс түзілмеген. Сонымен қатар, II түріндегі кешенді қосылыс түзу нәтижесінде ТД молекуласының кейбір деформациясы байқалады, бұл оның Цт молекуласының сәйкес бөлігіне оңтайлы орналастыру үшін қажет. Сонымен қатар, АМ1 жартылай эмпирикалық әдісімен Цт:β-ТД кешенді қосылысының 1:2 қатынасындағы құрылымы молекулалық модельдеу арқылы жасалды. Сызбаны оңтайландыру нәтижесінде алынған кешеннің құрылымы 6-суретте көрсетілген. Нүктелі сызықтар арқылы сутектік байланыстар бейнеленген.

бүйірден көрініс



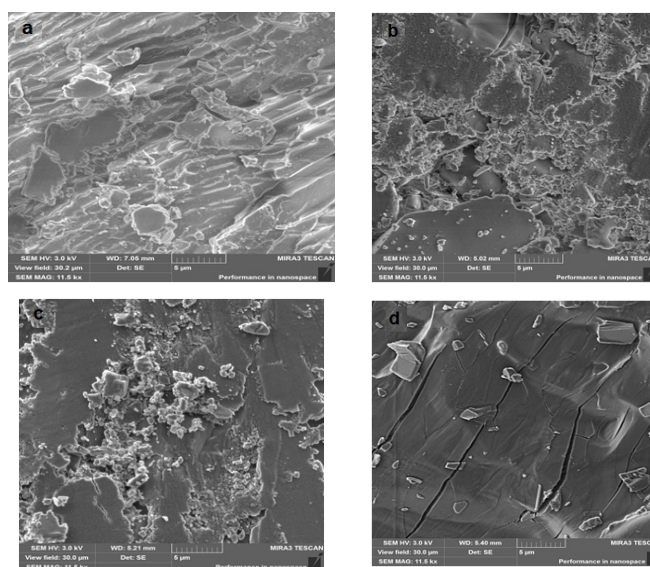
жоғарыдан көрініс

Е<sub>толық</sub> = -864117,5041 ккал/моль;  $\mu = 8,377$  Дебай

Сурет 6. Цт:β-ТД кешенінің 1:2 қатынасындағы оңтайландырылған құрылымы. Нүктелі сызықтар арқылы сутектік байланыстар көрсетілген.

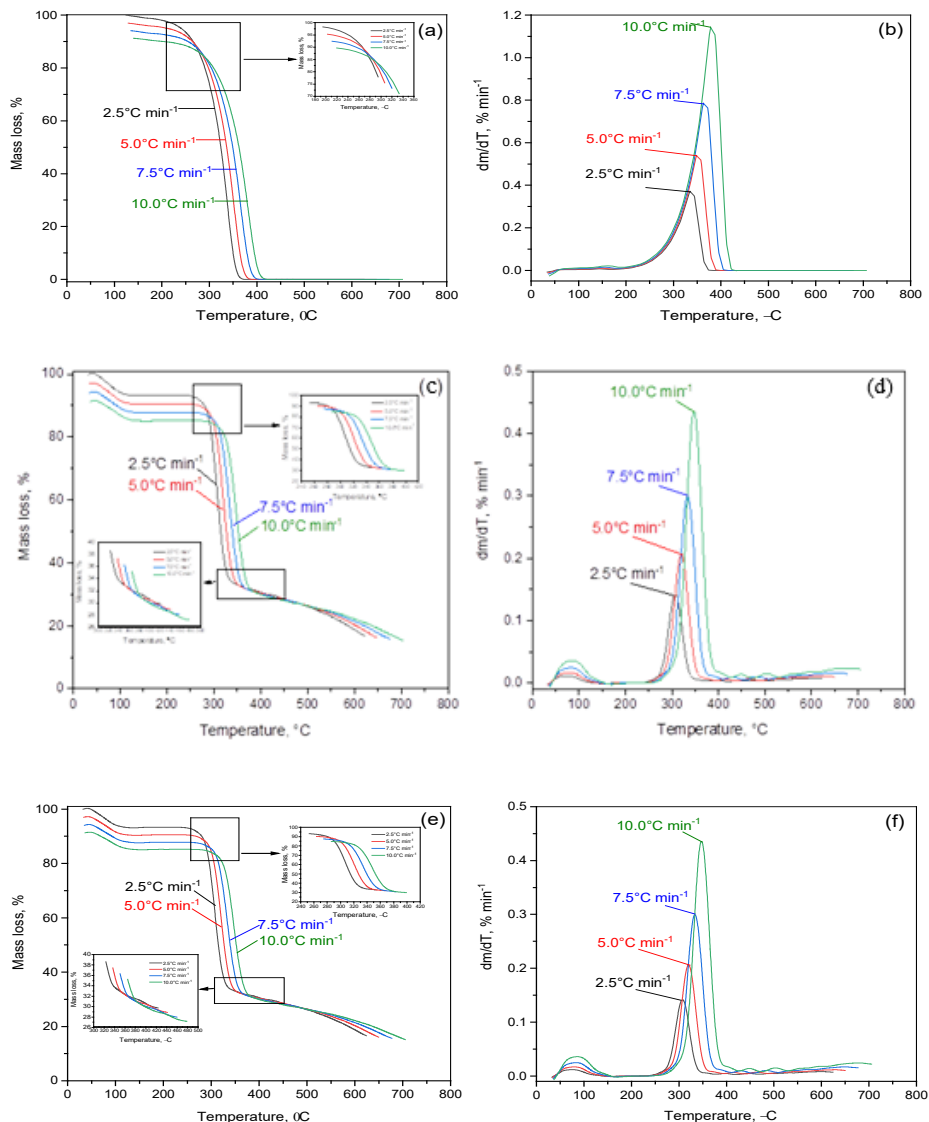
6-суретте көрсетілген мәліметтерге сүйенсек, Цт:β-ТД (1:2) қатынасындағы кешен β-ТД-нің екі молекуласымен түзілетін сутектік байланыстар нәтижесінде пайда болады: олардың молекулалары бір-бірімен байланысып, жалпы қуысты құрайды. Осы жалпы қуыста Цт молекуласы орналасып, өзінің пиридин және пиперидин циклдерінен тұратын қаныққан жүйесі арқылы ТД-нің бір молекуласына екі сутектік байланыс орнықтыру арқылы түзіледі. Молекулалық сутектік байланыстар жүйесінің болуы бұл Цт:β-ТД (1:2) қатынасындағы кешенді қосылысының мүмкіншілігін көрсетеді. Осы нәтижелер Цт мен β-ТД арасындағы өзара әрекеттесу 1:1 және 1:2 қатынасындағы кешенді қосылыстардың түзілу мүмкіндігін растайды.

7-суретте Цт:β-ТД (1:2) кешенді қосылысының TesconMira 3 LMN сканирлеуші электрондық микроскопында (СЭМ) микро-фотосуреттері келтірілген. Бұл суреттер 3 және 7 кВ үдеткіш кернеуінде (SEM MAG 537x–8,06 kx) түсірілген. Суреттерде β-ТД құрылымы (а, b) және Цт:β-ТД клатратының көрінісі (с, d) әртүрлі ұлғайтуларда көрсетілген. Талдау нәтижелері көрсеткендей, Цт:β-ТД (1:2) кешенді қосылыс үлгілерінде кристалдардың морфологиясы өзгерген, бұл кешеннің түзілуінің маңызды дәлелі болып табылады (Wang et al., 2015). Цт:β-ТД (1:2) кешенді қосылыстың құрылымы ИҚ-Фурье,  $^1\text{H}$  және  $^{13}\text{C}$  ЯМР спектроскопиясы, сондай-ақ COSY ( $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$ ) және HMQC ( $^1\text{H}$ - $^{13}\text{C}$ ) екіөлшемді спектрлері арқылы қосымша расталды (Fazylov et al., 2025). Спектрлік талдау Цт пен β-ТД торының ішкі функционалдық топтары арасында ковалентті өзара әрекеттесулер жоқ екенін көрсетті. Кешенді қосылыстың түзілуінде шешуші рөл өзіндік емес (дисперсиялық, ван-дер-Ваальс және т.б.) өзара әрекеттесулерге тиесілі.  $^1\text{H}$  және  $^{13}\text{C}$  спектрлері, сондай-ақ COSY ( $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$ ) және HMQC ( $^1\text{H}$ - $^{13}\text{C}$ ) екіөлшемді спектрлері Цт:β-ТД-нің (1:2) қатынасындағы молекуласының құрылымын толық растады.



Сурет 7. СЭМ суреттері β-ТД (а), Цт (b), физикалық қоспасы β-ТД (с) және Цт:β-ТД (1:2) (d).

Дифференциалды сканерлеуші калориметрия әдістерін қолдана отырып, ЦТ молекуласының және оның  $\beta$ -ТД-мен клатраттарының термиялық тұрақтылығы бағаланды. ЦТ және ЦТ: $\beta$ -ТД (1:2) қатынасындағы қосылыстың ыдырауының термиялық талдау параметрлері TG/DTG қисықтарында көрсетілген (8- сурет).



Сурет 8. Ауада 10 градус/мин тұрақты қыздыру жылдамдығымен 1:2 қатынасындағы ЦТ (а, б) және ЦТ: $\beta$ -ТД (с және d) TG/DTG қисықтары.

Алынған мәліметтер қосылыстардың ыдырау сипаттамалары туралы кейбір қорытындылар жасауға мүмкіндік береді (8с және 8d-суреттер). TG/dTG қисықтарына сүйенсек,  $T_{\text{term}} = 260\text{--}440^\circ\text{C}$  температуралық диапазонын бөліп

көрсетуге болады, бұл жерде массаның жоғалу жылдамдығы өзгеріп отырады, ең үлкен мән немесе dTG қисығында қисықтық нүктесі байқалады (8b-сурет) (Fazylov et al., 2025). ЦТ молекуласының термиялық ыдырауының бастапқы кезеңі  $T_{\text{term}}(I) = 260^{\circ}\text{C}$  температурасында молекулалардың бағдардан адасуы, сутектік байланыстардың бұзылуы және конформациялардың өзгеруімен сипатталады. Бұдан кейін  $320-440^{\circ}\text{C}$  аралығында деградация өнімдері пайда бола бастайды: аммиак, азоттық қосылыстар және көміртегі қалдықтары. 8с-суретте көрсетілгендей, ЦТ:β-ТД қосылысының қыздырылуы кезінде массаның айтарлықтай жоғалуы  $T_{\text{term}}(I) = 200-360^{\circ}\text{C}$  диапазонында басталады. Бұл процесс күрделі құрылымның бұзылуы арқылы әртүрлі фрагменттер мен ыдырау өнімдерінің түзілуіне әкеледі. ЦТ:β-ТД (1:2) кешенді қосылысының термиялық ыдырауы β-ТД молекуласының қуысынан компоненттердің шығуы және өзара байланыстардың тізбектей үзілуі механизмін ұстанады.

**Қорытынды.** Цитизин алкалоиды молекуласының β-тұйықдекстринмен қапталған кешенді қосылыстарының түзілу ерекшеліктері анықталды. Цитизиннің β-тұйықдекстринмен инклюзивтік кешендері «қонақ–қожайын» түріндегі қосылыстарға жатады. Цитизин молекуласының β-тұйықдекстринмен кешен түзілуі молекулалық модельдеу HyperChem 8.0 бағдарламасымен жүргізілді. Цитизиннің кешенді қосылысының түзілуінде өзіндік емес (дисперсиялық, вандер-Ваальс және т.б.) өзара әрекеттесулер шешуші рөл атқарады. Термографиялық әдістемелерді цитизин клатрат кешенінің термиялық-тотықтырғыш ыдырауын зерттеуде және осы процестердің кинетикалық параметрлерін анықтауда пайдалануға болады.

### References

- Fazylov S.D., Nurkenov O.A., Nurmaganbetov Zh.S., Sarsenbekova A.Zh., Bakirova R.E. (2025) Synthesis of β-cyclodextrin functionalized silver nanoparticles and their filling with cytosine and its phosphorous derivative. *Molecules*, 30:1337. DOI: 10.3390/molecules30061337 (in Eng.).
- Fedorova V.A., Kadyrova R.A., Slita A.V., Muryleva A.A., Petrova P.R. et al. (2021) Antiviral activity of amides and carboxamides of quinolizidine alkaloid (-)-cytosine against human influenza virus A(H1N1) and parainfluenza virus type 3. *Natural Product Research*, 35:22. – P. 4256-4264. DOI: 10.1080/14786419.2019.1696791 (in Eng.).
- Hyper Chem 8.0 Release Hypercube, Inc. (2021) PubChem Compound Summary for CID.nNational Center for Biotechnology Information, <http://www.hypercubeusa.com> (in Eng.).
- Jansook P., Ogawa N., Loftsson T. (2018) Cyclodextrins: structure, physicochemical properties and pharmaceutical applications. *International Journal of Pharmaceutics*, 535. – P. 272-284. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2017.11.018 (in Eng.).
- Loftsson T., Saokham P., Couto A.R.S. (2019) Self-association of cyclodextrins and cyclodextrin complexes in aqueous solutions. *International Journal of Pharmaceutics*, 560. – P. 228-234. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2019.02.004 (in Eng.).
- Martin Del Valle E. (2004) Cyclodextrins and their u: a review. *Process Biochemistry*, 39. – P. 1033-1046. DOI: 10.1016/S00032-9592(03)00258-9 (in Eng.).
- Morris G.M., Goodsell D.S., Halliday R.S., Huey R., Hart W.E. et al. (1998) Automated docking using a Lamarckian genetic algorithm and an empirical binding free energy function. *J. Comput. Chem.*, 19. – P. 1639-1662. DOI: 10.1002/(SICI)1096-987X(19981115)19:14<1639:AID-JCC10>3.0.CO;2-B (in Eng.).
- Morris G.M., Huey R., Lindstrom W., Sanner M.F., Belew R.K., Goodsell D.S., Olson A.J. (2009) Autodock4 and AutoDockTools4: automated docking with selective receptor flexibility. *J. Computational Chemistry*, 16. – P. 2785-2791. DOI: 10.1002/jcc.21256 (in Eng.).

Prochaska J.J., Das S., Benowitz N.L. (2013) Cytisine, the world's oldest smoking cessation aid. *British Medical Journal*, 347. DOI: 10.1136/bmj.f5198 (in Eng.).

Qvist J., Halle B. (2008) Thermal signature of hydrophobic hydration dynamics. *American Chemical Society*, 130:31. – P. 10345-10353. DOI: 10.1021/ja802668w (in Eng.).

Vakhitova Y.V., Farabontova E.I., Zainullina L.F., Vakhitov V.A. (2015) Search for (-)-cytisine derivatives as potential inhibitors of NF- $\kappa$ R and STAT1. *Russian Journal of Biorganic chemistry*, 41. – P. 297-304. DOI: 10.1134/S1068162015030103(in Eng.).

Waleczek K.J., Carbal Marques H.M., Hempel B., Schmidt P.C. (2003) Phase solubility studies of pure (2)- $\alpha$ -bisabolol and chamomile essential oil with  $\beta$ -cyclodextrine. *Eur. J. Pharm. Biopharm*, 5. – P. 247-251. DOI: 10.1016/s0939-6411(02)00166-2 (in Eng.).

Wang L., Li S., Tang P., Yan J., Xu K., Li H. (2015) Characterization and evaluation of synthetic reluzole with  $\beta$ -cyclodextrin and 2,6-di-O-methyl- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes. *Carbohydr. Polym.*, 129. – P. 9-16. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.04.046 (in Eng.).

Walker N., Howe C., Glover M., McRobbie H. et al. (2014) Cytisine versus Nicotine for Smoking Cessation. *The New England Journal of Medicine*, 371:(25). – P. 2353-2362. DOI: 10.1056/NEJMoa1407764 (in Eng.).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

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