

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

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№1
2026**

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

2026 • 1



**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 Oil refining and Petrochemistry Research Institute (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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, 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>

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/author/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/rec-ord/2428551>

ӘБИЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ Бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» ғылыми-өндірістік орталығы» АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/author/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/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

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

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

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

БӨШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, PhD теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСПІНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/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/author/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/author/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/author/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

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

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 МАН и НАН РК, Генеральный директор Научно-исследовательского института нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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>

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, Генеральный директор 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>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АДЕКЕНОВ Сергазы 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 Россини 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 Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <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 Агазыевич, 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 Мухамбетали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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 имени 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 Мелеу 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>

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

Aimaganbetova Z.K., Kulshymbayev Y.A., Zhanturina N.N., Beketova G.K.
First-principles calculation of the electronic properties of the Double Halide Perovskite $\text{Cs}_2\text{Ag}_{0.2}\text{Na}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{Cl}_6$ based on the quantum ESPRESSO software.....14

Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V.
Study of the cluster structure of ^5He and ^5Li mirror nuclei in two-cluster approximation.....35

Chokin K., Otunchi Ye., Kozhahmetova A., Kasenova A., Shongalova A.
Development and testing of a laboratory pyrometallurgical installation for recycling lithium-ion batteries.....46

Issayeva A., Beisebayeva A., Madybekova G., Shynazbekova Sh., Issa A.
Comparative analysis of physico-chemical characteristics of drinking, spring and natural water in the South Kazakhstan.....65

Kim V.Yu., Aimuratov Y.K.
Search for transient cosmic events by scanning the sky with wide-field telescopes.....78

Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh.
Study of the electromagnetic field based on thermodynamics principles.....89

Mukamedenkyzy V., Akberdiyev B.
Numerical investigation of the effect of inclination angle on the stability of mechanical equilibrium in Ar–N₂ binary gas mixtures.....105

Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z.
Kinetic properties of high-density polyethylene filled with chromium spinel powder.....119

Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E.
The role of low-dimensional layered structures in enhancing the stability of tin-based perovskite materials.....136

Sattinova Z., Ermakhanova F., Assilbekov B., Taimuratova L.
Influence of various cooling conditions and heat transfer coefficients on solidification during the formation of beryllium ceramic products.....149

Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Spassyyuk R.R., Omarov Ch.T.
Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....165

Ualikhanova U., Tursynkazy F., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B.
Studying the amplitude of $f(T)$ gravitational waves using Bessel functions.....179

Zhexenbayeva G.A., Nasirova D.M., Aimanova G.K., Shomshekova S.A. Photometric study of the symbiotic object V725 Tau.....	194
Zhusupova N.K., Zhadyranova A.A. Bounce cosmology in $f(T, \mathcal{T})$ gravity based on energy condition analysis.....	205
Ziyatbekova G., Abdimanapova P., Sagyntay O., Nurym A., Ilinov R. Using artificial intelligence to predict diseases based on medical data.....	225

CHEMISTRY

Almassov N.Zh., Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E., Zhakiyev N.K. Design and optimization of hybrid renewable energy systems for hydrogen production in Kazakhstan.....	236
Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M.M., Dauletiyarov M. Calculation of the Raw material composition for obtaining white Portland cement clinker.....	251
Baeshov A., Tashenov E.A., Atykhanova S.B., Koshkarbayeva Sh.T. Preparation of cadmium sulfide by electrochemical method using a composite sulfur-graphite electrode.....	267
Baisalova G.Zh., Azhikhanova Zh., Taltenov A.A., Kuzhatova P. Determination of the total phenolic content in perennial herbaceous plants of the flora of Kazakhstan.....	277
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R., Zhussipnazarova G.M., Mukazhanova Zh.B., Begenova B.E. Composites based on chitosan and cellulose: synthesis, properties, and application prospects.....	287
Erkasov R.Sh., Zhamkenova A.S., Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Kassenova N.B. Halide-dependent modulation of hydrogen bonding in Mn(II) complexes with protonated acetamide: a QAIM, NCI, and energy decomposition study.....	304
Kalimoldina L.M., Shaikhova Zh.E., Kaliyeva B.K., Bubish Sh., Askarova Sh.K. The effect of silver nanoparticles on the germination of bean, lemon, tangerine and avocado seeds.....	320
Kurtebayeva A.A., Alvarez-Torrellas S., Gomes H.T., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S. Activated-carbon-enhanced polymeric membranes for efficient elimination of emerging contaminants.....	334

Massenova A.T., Zhumakanova A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Abilmagzhanov A.Z. Optimization of the hierarchical zeolite ZSM-5 synthesis process by steam-assisted alkaline modification.....	350
Mutushev A.Zh., Nuraly A.M., Sanat A.S., Shaukharova M.A., Yessimsiitova Z.B. The effect of light-converting films on the accumulation of bioactive compounds and the quality of fruits.....	366
Nefedov A.N., Taikenova A.T. Current state of organic corrosion inhibitor application in oil refining.....	379
Omarov B.T., Altybayev Zh.M., Serikbayeva B.S. Production of biohumus by vermicomposting of organic wastes and study of its agroecological effectiveness.....	399
Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N., Kazybayeva D.S., Irmukhametova G.S. Development and investigation of mucoadhesive hydrogels based on gellan–cysteine complexes.....	414
Sabyrzhanova A.E., Bolatkyzy N., Berganaeva G.E., Dyusebaeva M.A. Study of amino acids and fatty acids in the aerial part of <i>Plantago major</i>	428
Satayeva S., Akhmetova F., Urazova A., Aituganova S., Yerniyazova K. The influence of PEPA concentration on the physical, mechanical, and operational properties of ED-20 epoxy adhesives.....	439
Zamanbek A.Zh., Koshkarbayeva Sh.T., Satayev M.S. Methods of Obtaining Silver Nanoparticles and Antibacterial Properties.....	450
Zhortarova A.A., Salkeyeva L.K., Minayeva Ye.V., Ibrayev M.K., Fazylov S.D. New possibilities for the synthesis and phosphorylation of phosphonoacetic acid ester.....	462

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Аймаганбетова З.К., Құлшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Quantum Espresso бағдарламасы негізінде Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ кос галогенді перовскиттің электрондық қасиеттерін бірінші принциптік есептеу.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курманғалиева В. Екі кластерлік жуықтауда 5He және 5Li айналық ядроларының кластерлік құрылымын зерттеу.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожаметова А., Касенова А., Шонғалова А. Литий-ионды аккумуляторларды қайта өндеуге арналған зертханалық пирометаллургиялық қондырғыны әзірлеу және сынау.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Кең бұрышты телескоптармен аспанды сканерлеу арқылы өтпелі ғарыштық оқиғаларды іздеу.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Электромагниттік өрісті термодинамикалық бастамалар тұрғысында зерттеу.....	89
Мукамеденқызы В., Ақбердиев Б. Ar–N ₂ бинарлы газ қоспаларындағы механикалық тепе-теңдік тұрақтылығына қиғаш бұрыштың әсерін сандық зерттеу.....	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Хром-шпинельді ұнтақ қосылған жоғары тығыздықты полиэтиленнің кинетикалық қасиеттері.....	119
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Қалайы негізіндегі перовскитті материалдардың тұрақтылығын арттырудағы төменөлшемді қабатты құрылымдардың рөлі.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Бериллий керамикалық бұйымдарын қалыптастыру кезінде әр түрлі салқындату жағдайлары мен жылу беру коэффициенттерінің қатаюға әсері.....	149
Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Күн жүйесінің ішкі аймағындағы комета-метеорлық тектегі газды іздеу: CaII иондарының жарқырауы.....	165

Уалиханова У.А., Тұрсынқазы Ф., Сыздықова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.
Бессель функцияларын пайдаланып $f(T)$ гравитациялық толқындардың
амплитудасын зерттеу.....179

Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекова С.А
V725 Тау симбиотикалық объектiсiн фотометрлiк зерттеу.....194

Жусупова Н.К., Жадыранова А.А.
Энергия шарттарын талдауға негiзделген $f(T, T)$ серпiлiс космологиясы.....205

Зиятбекова Г.З., Абдиманапова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А.
Жасанды интеллект көмегiмен медициналық деректер бойынша
ауруларды болжау.....225

ХИМИЯ

Алмасов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дүйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К.
Қазақстанда сутегi өндiруге арналған гибрирдiк жаңартылатын энергия жүйелерiн
жобалау және оңтайландыру.....236

Амангелдi Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М.
Ақ портландцемент клинкерiн алу үшiн шикiзат шихта құрамын есептеу.....251

Баешов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т.
Композициялы күкiрт-графит электродын қолдану арқылы кадмий
сульфидiн электрохимиялық әдiспен алу.....267

Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Құжатова П.
Қазақстан флорасындағы көпжылдық шөптесiн өсiмдiктердiң фенолдық
қосылыстарының жиынтық мөлшерiн анықтау.....277

**Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусипназарова Г.М., Мукажанова Ж.Б.,
Бегенова Б.Е.**
Хитозан және целлюлоза негiзiндегi композиттер: синтез, қасиеттерi және қолдану
перспективалары.....287

**Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н.,
Касенова Н.Б.**
Mn (II) кешендерiндегi сутектiк байланыстардың энергиясы мен табиғатына
галогеннiң әсерi: QТАІМ, NCI және энергия декомпозициясы.....304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К.
Күмiс нанобөлшектерiнiң бұршақ, лимон, мандарин, авокадо тұқымдарының
өнуiне әсерi.....320

Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.Ә., Калмаханова М.С. Алаңдаушылық тудыратын ластаушы заттарды тиімді жою үшін белсендірілген көмір полимерлі мембраналар.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. ZSM-5 иерархиялық цеолитін бумен сілтілі модификациялау арқылы алу процесін онтайландыру.....	350
Мутушев А.Ж., Нұралы Ә.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимситова З.Б. Жарық түрлендіретін пленкалардың биоактивті қосылыстардың жинақталуына және жеміс сапасына әсері.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Мұнай өңдеу өнеркәсібінде органикалық коррозия ингибиторларын қолданудың қазіргі жағдайы.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Органикалық қалдықтарды вермикомпостинг арқылы биогумус өндіру және оның агроэкологиялық тиімділігін зерттеу.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Қазыбаева Д.С., Ирмухаметова Ғ.С. Геллан–цистеин кешендері негізінде мукоадгезиялық гидрогельдерді әзірлеу және зерттеу.....	414
Сабыржанова А.Е., Болатқызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Plantago Major жер үсті бөлігінің құрамындағы амин қышқылдары мен май қышқылдарын зерттеу.....	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. ЭД-20 эпоксидті желімдерінің физика-механикалық және эксплуатациялық қасиеттеріне ПЭПА концентрациясының ықпалы.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Күміс нанобөлшектерінің алыну әдістері мен антибактериалдық қасиеттері.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Фосфоносірке қышқылының эфирін синтездеу мен фосфорландырудың жаңа мүмкіндіктері.....	462

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Аймаганбетова З.К., Кулшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Расчет по первому принципу электронных свойств двойного галогенидного перовскита Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ на основе программы Quantum Espresso.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В. Исследование кластерной структуры зеркальных ядер ⁵ He и ⁵ Li в двухкластерном приближении.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожаметова А., Касенова А., Шонгалова А. Разработка и испытания лабораторной пирометаллургической установки для переработки литий-ионных аккумуляторов.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Поиск транзиентных космических событий методом сканирования неба широкоугольными телескопами.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Исследование электромагнитного поля на основе термодинамических принципов.....	89
Мукамеденкызы В., Акбердиев Б. Численное исследование влияния угла наклона на устойчивость механического равновесия в бинарной газовой смеси Ar–N ₂	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Кинетические свойства высокоплотного полиэтилена с добавлением хром-шпинельного порошка.....	119
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Роль низкоразмерных слоистых структур в повышении стабильности перовскитных материалов на основе олова.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Влияние различных условий охлаждения и коэффициентов теплопередачи на затвердевание при формировании бериллиевых керамических изделий.....	149

Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Поиск газа кометно-метеорного происхождения во внутренней области Солнечной Системы: Свечение ионов СаII.....	165
Уалиханова У.А., Турсынказы Ф., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Изучение амплитуды $f(T)$ гравитационных волн с использованием функций Бесселя.....	179
Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекеева С.А. Фотометрическое исследование симбиотического объекта V725 Tau.....	194
Жусупова Н.К., Жадыранова А.А. Космология отскока в $f(T, \mathcal{J})$ гравитации на основе анализа энергетических условий.....	205
Зиятбекова Г.З., Абдимананова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования заболеваний на основе медицинских данных.....	225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дуйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К. Проектирование и оптимизация гибридных возобновляемых источников энергии для производства водорода в Казахстане.....	236
Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М. Расчёт состава сырьевой шихты для получения белого порландцементного клинкера.....	251
Башов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т. Получение сульфида кадмия электрохимическим методом с использованием композитного сера-графитового электрода.....	267
Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Кужатова П. Определение суммы фенольных соединений в многолетних травянистых растениях флоры Казахстана.....	277
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусиппазарова Г.М., Мукажанова Ж.Б., Бегенова Б.Е. Композиты на основе хитозана и целлюлозы: синтез, свойства и перспективы применения.....	287
Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Касенова Н.Б. Влияние галогена на энергетику и природу водородных связей в Mn(II): QTAIM, NCI и энергодекомпозиция.....	304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К. Влияние наночастиц серебра на прорастание семян фасоли, лимона, мандарина, авокадо.....	320
Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.А., Калмаханова М.С. Полимерные мембраны с активированным углем для эффективного удаления загрязняющих веществ вызывающих обеспокоенность.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. Оптимизация процесса получения иерархического цеолита ZSM-5 паровой щелочной модификацией.....	350
Мутушев А.Ж., Нуралы А.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимсиитова З.Б. Влияние светопреобразующих плёнок на накопление биоактивных соединений и качество плодов.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Современное состояние применения органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Получение биогумуса путем вермикомпостирования органических отходов и исследование его агроэкологической эффективности.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Казыбаева Д.С., Ирмухаметова Г.С. Разработка и исследование мукоадгезивных гидрогелей на основе комплексов геллан–цистеин.....	414
Сабыржанова А.Е., Болаткызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Исследование аминокислот и жирных кислот в составе надземной части <i>Plantago Major</i>	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. Влияние концентрации ПЭПА на физические, механические и эксплуатационные свойства эпоксидных клеев ЭД-20.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Методы получения наночастиц серебра и антибактериальные свойства.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Новые возможности синтеза и фосфорилирования фосфонуксусного эфира.....	462

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 1.
Number 357 (2026), 414–427

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.429>

UDC: 31.25.19:615.453
IRSTI:31.25

©**Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N.*, Kazybayeva D.S.,
Irmukhametova G.S., 2026.**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF MUCOADHESIVE HYDROGELS BASED ON GELLAN–CYSTEINE COMPLEXES

Rakhman Damira — Master of Chemical Sciences, Engineer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Rakhman.damira@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5912-0571>;

Kappasuly Alisher — PhD student, engineer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: kappasuly@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6205-7721>;

Makhayeva Danelya — PhD, Senior Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Kazybayeva Diara — PhD, Senior Researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: diara_92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2935-6815>;

Irmukhametova Galiya — Candidate of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: galiya.irm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>.

Abstract. Currently, drug delivery systems are characterised by significant diversity and significant differences in bioavailability. Along with traditional dosage forms such as tablets, capsules, gels, aerosols, ointments, syrups, patches, and injections, mucoadhesive systems, adhesive to mucous membranes, are of particular scientific and practical interest. The mucous membrane's good blood supply, thinness, and high permeability ensure more effective penetration of drugs into the body. However, constant moisture and physiological mobility of the mucous limit the long-term retention of traditional dosage forms, which can lead to a reduction in therapeutic effect. Therefore, the development of mucoadhesive drug systems and the improvement of their properties are pressing issues.

This study aimed to develop and characterise mucoadhesive dosage forms based on a complex based on gellan and cysteine. In this study, complexes of gellan–cysteine system were obtained at various molar ratios, and the influence of the preparation conditions on their structural and functional properties was studied. The resulting complexes



were characterised using Ellman's assay and infrared spectroscopy. Furthermore, mucoadhesive hydrogels were prepared using the gellan–cysteine complex and Carbopol 940, and their rheological properties were assessed using viscosimetry. It was found that the mucoadhesive properties of hydrogels depend on their composition and the content of thiol groups in the complex. The obtained results indicate the potential of gellan–cysteine complexes for the creation of mucoadhesive hydrogel dosage forms intended for the treatment of dental and other diseases of the mucous membranes, as well as the possibility of their use in pharmaceuticals and biomedicine.

Keywords: gellan, cysteine, polymer hydrogel, complex, mucoadhesion, health and well-being, sustainable development

Acknowledgement: *The article was prepared within the framework of the grant financing project of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan «Creation of novel systems for drug delivery for addressing ocular conditions using mucoadhesive polymers» for 2025–2027. (IRN: AP26101041).*

For citations: *Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N., Kazybayeva D.S., Irmukhametova G.S. Development and Investigation of Mucoadhesive Hydrogels Based on Gellan–Cysteine Complexes. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 414–427. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.429>*

©Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н.^{*}, Қазыбаева Д.С.,
Ирмухаметова Ғ.С., 2026.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

ГЕЛЛАН–ЦИСТЕИН КЕШЕНДЕРІ НЕГІЗІНДЕ МУКОАДГЕЗИЯЛЫҚ ГИДРОГЕЛЬДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Рахман Дамира — химия ғылымдарының магистрі, инженер, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Rakhman.damira@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5912-0571>;

Қаппасұлы Әлішер — докторант, кіші ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail kappasuly@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6205-7721>;

Махаева Данэля — PhD, аға ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Қазыбаева Диара — PhD, аға ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: diara_92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2935-6815>;

Ирмухаметова Ғалия — химия ғылымдарының кандидаты, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail galiya.irm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>.

Аннотация. Қазіргі таңда дәрілік заттарды жеткізу формалары алуан түрлілігімен сипатталады және олардың биологиялық қолжетімділігі бойынша елеулі айырмашылықтары бар. Таблеткалар, капсулалар, гельдер, аэрозольдер, майлар, сироптар, пластырьлер мен инъекциялар сияқты дәстүрлі дәрілік формалармен қатар, шырышты қабаттарға бекіне алатын мукоадгезивті жүйелер ерекше ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады. Шырышты қабаттың қан тамырларымен жақсы қамтамасыз етілуі, жұқалығы және жоғары өткізгіштігі дәрілік заттардың ағзаға тиімді енуіне мүмкіндік береді. Алайда оның үнемі ылғалды болуы мен физиологиялық қозғалғыштығы дәстүрлі дәрілік формалардың ұзақ сақталуын шектеп, терапиялық әсердің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Осыған байланысты мукоадгезивті дәрілік жүйелерді дамыту және олардың қасиеттерін жетілдіру өзекті мәселе болып табылады.

Осы жұмыстың мақсаты – геллан мен цистеиннің өзара әрекеттесуі негізінде алынған кешенді қолдана отырып, медициналық мақсаттағы мукоадгезивті дәрілік формаларды әзірлеу және олардың қасиеттерін зерттеу. Жұмыс барысында геллан–цистеин жүйесінің әртүрлі мольдік қатынастарындағы кешендері алынып, олардың құрылымдық және функционалдық ерекшеліктеріне синтез шарттарының әсері зерттелді. Алынған кешендер Элман әдісімен және инфрақызыл спектроскопия әдістері арқылы сипатталды. Сонымен қатар, геллан–цистеин кешені мен карбопол 940 негізінде мукоадгезивті гидрогельдер дайындалып, олардың реологиялық қасиеттері вискозиметрия әдісімен бағаланды. Гидрогельдердің мукоадгезиялық қасиеттерінің олардың құрамы мен кешендегі тиол топтарының мөлшеріне тәуелді екені анықталды. Алынған нәтижелер стоматологиялық және басқа да шырышты қабат ауруларын емдеуге арналған мукоадгезивті гидрогельді дәрілік формаларды әзірлеу үшін геллан–цистеин кешендерінің перспективалы екенін көрсетеді және бұл жүйелердің фармацевтика мен биомедицина салаларында қолдану мүмкіндігін кеңейтеді.

Түйін сөздер: геллан, цистеин, полимерлі гидрогель, кешен, мукоадгезия, денсаулық пен әл-ауқат, тұрақты даму

©Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н.*, Казыбаева Д.С.,
Ирмухаметова Г.С., 2026.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.
E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МУКОАДГЕЗИВНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ ГЕЛЛАН–ЦИСТЕИН

Рахман Дамира — магистр химических наук, инженер, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: Rakhman.damira@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5912-0571>;

Қаппасұлы Әлішер — докторант, младший научный сотрудник, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: kappasuly@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6205-7721>;



Махаева Данэля — PhD, старший научный сотрудник, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: Makhayeva.Danelya@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1250-9587>;

Казыбаева Диара — PhD, старший научный сотрудник, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: diara_92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2935-6815>;

Ирмухаметова Галия — кандидат химических наук, профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

E-mail: galiya.irm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1264-7974>.

Аннотация. В настоящее время лекарственные формы характеризуются значительным разнообразием и существенными различиями по показателям биодоступности. Наряду с традиционными формами, такими как таблетки, капсулы, гели, аэрозоли, мази, сиропы, пластыри и инъекции, особый научный и практический интерес представляют мукоадгезивные системы, способные фиксироваться на слизистых оболочках. Хорошее кровоснабжение слизистой оболочки, ее малая толщина и высокая проницаемость обеспечивают более эффективное проникновение лекарственных веществ в организм. Вместе с тем постоянная увлажненность и физиологическая подвижность слизистой оболочки ограничивают длительное удерживание традиционных лекарственных форм, что может приводить к снижению терапевтического эффекта. В связи с этим разработка мукоадгезивных лекарственных систем и совершенствование их свойств являются актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка и исследование мукоадгезивных лекарственных форм медицинского назначения на основе комплекса, полученного в результате взаимодействия геллана с цистеином. В ходе исследования были получены комплексы системы геллан–цистеин при различных мольных соотношениях, а также изучено влияние условий синтеза на их структурные и функциональные характеристики. Полученные комплексы были охарактеризованы методами Элмана и инфракрасной спектроскопии. Кроме того, на основе комплекса геллан–цистеин и карбопола 940 были приготовлены мукоадгезивные гидрогели, вязкостные свойства которых оценивали методом вискозиметрии. Установлено, что мукоадгезивные свойства гидрогелей зависят от их состава и содержания тиольных групп в комплексе. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности комплексов геллан–цистеин для создания мукоадгезивных гидрогельных лекарственных форм, предназначенных для лечения стоматологических и других заболеваний слизистых оболочек, а также подтверждают возможность их применения в фармацевтике и биомедицине.

Ключевые слова: геллан, цистеин, полимерный гидрогель, комплекс, мукоадгезия, здоровье и благополучие, устойчивое развитие

Кіріспе. Қазіргі таңда дәрілік заттарды жеткізу жүйелерін жетілдіру фармацевтика және биомедицина салаларындағы басым ғылыми бағыттардың бірі болып табылады (Cook et al., 2017; Yadav et al., 2014). Әсіресе шырышты қабаттар арқылы дәрілік заттарды жеткізу жоғары биожегімділікке, инвазиясыз енгізуге

және пациентке қолайлылығына байланысты ерекше қызығушылық тудырады (Junginger et al., 2008). Трансмукозальды енгізу жолдары дәрілік заттардың жүйелі қан айналымына бауырлық «бірінші өту» метаболизмін айналып өтіп түсуіне мүмкіндік береді, бұл олардың терапиялық тиімділігін арттырады (Ugwoke et al., 2005).

Ауыз қуысының шырышты қабаты жақсы қанмен қамтамасыз етілген, терімен салыстырғанда жұқалау және дәрілік заттардың ағзаға тиімді енуіне қолайлы орта болып табылады. Алайда сілекейдің үздіксіз бөлінуі (тәулігіне 0,5–2 л) және тіндердің қозғалғыштығы дәстүрлі дәрілік формалардың шырышты қабатта ұзақ уақыт ұсталуын қиындатады, нәтижесінде дәрінің ауыз қуысында сақталу уақыты әдетте 5–10 минуттан аспайды (Birudaraj et al., 2005). Осыған байланысты мукоадгезивті полимерлер негізіндегі дәрілік формаларды әзірлеу өзекті болып табылады (Ahuja et al., 2006).

Мукоадгезивті жүйелер дәрілік заттың шырышты қабатта сақталу уақытын ұзартып, оның біртіндеп босап шығуын және пролонгирленген әсерін қамтамасыз етеді, сондай-ақ енгізу жиілігін азайтуға мүмкіндік береді (Illum, 2003; Costantino et al., 2007). Осы тұрғыда табиғи полисахаридтер, соның ішінде геллан, мукоадгезивті дәрілік жүйелер үшін перспективалы материалдар ретінде қарастырылады (Oliveira et al., 2010; Smith et al., 2007).

Геллан шайыры ыстыққа төзімді, мөлдір гидрогельдер түзуге қабілетті және шырышты қабаттармен тиімді өзара әрекеттесе алады. Алайда гелланның шырышты қабат инжинирингіндегі және мукоадгезивті дәрілік жүйелердегі қолданылуы әлі де шектеулі зерттелген (Smith et al., 2007). Гелланның функционалдық қасиеттерін жақсарту мақсатында оны тиол топтарын қамтитын қосылыстармен функционализациялау перспективалы бағыт болып табылады (Duclos, 2004; Jodar et al., 2001). Тиол-сақтаушы жүйелер муцин құрамындағы цистеин қалдықтарымен дисульфидті байланыстар түзе отырып, мукоадгезиялық қасиеттердің айтарлықтай артуына ықпал етеді (Koping-Hoggard et al., 2006; O’Hagan and Rappuoli, 2004).

Осыған байланысты геллан мен L-цистеин арасындағы өзара әрекеттесу негізінде тиол топтарын қамтитын кешендерді алу және олардың мукоадгезиялық қасиеттерін зерттеу ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады.

Материал және әдістер. *Материалдар.* Геллан («Gelzan™CM», Zhejiang DSM Zhongken Biotechnology Co., Ltd, Қытай), Цистеин-L 98% тазалығы, карбопол 940, метронидазол, 5,5-дитиобис-(2-нитро бензой қышқылы)) («Sigma-Aldrich», Ұлыбритания), тұз қышқылы, KH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , NaCl , KCl «х.т.» маркалы буферлі тұздар, натрий гидроксиді NaOH (ТОО «Сигма Тек», Ресей) алдын ала қосымша тазарту жүргізілмей қолданылды.

Цистеин мен гелланның әрекеттесуі негізінде алынған кешен. Цистеин мен гелланның тиол топтарын қамтитын кешенін алу олардың тұз қышқылы қатысында жүретін электростатикалық (ионды-ассоциативті) өзара әрекеттесуі негізінде жүзеге асырылды. Алдымен геллан шайырының 1 г мөлшері 50 мл дистилденген суда араластырылып, алынған ерітінді 80 °C температураға дейін

қыздырылды. Кейін ерітіндіге тұз қышқылында (0,3 мл, концентрациясы 7 N) ерітілген L-цистеин (0,3 мг) қосылды. Процесс болме температурада 3 сағат бойы жүргізілді.

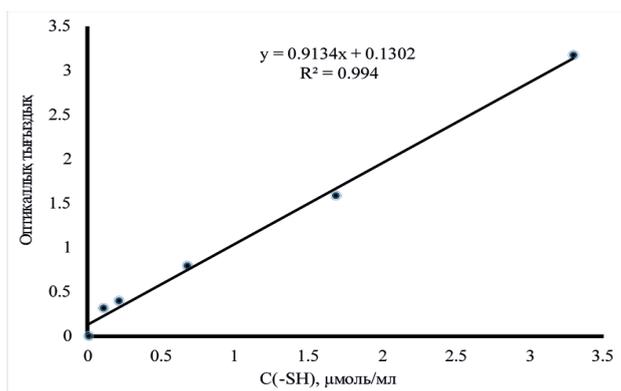
Электростатикалық өзара әрекеттесу нәтижесінде түзілген кешен этанолмен (100 мл) жуылып, тұндыруға қалдырылды. Алынған тұнба мұздатқышта толық кристалданғанға дейін қатырылып, кейін лиофильді кептіргіште (FreeZone Plus, Австрия) $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада 24 сағат бойы кептірілді. Келесі тәжірибелерде геллан мөлшері тұрақты сақталып, геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы өзгертілді. Атап айтқанда, геллан:цистеин қатынасы 2:1 және 1:1 болатын жүйелерді алу үшін цистеиннің мөлшері тиісінше 1,5 мг және 3 мг етіп алынды.

Физика-химиялық талдау әдістері. ИК-спектроскопиялық талдау. Алынған кешендердің құрылымын бағалау үшін ИК–Фурье спектроскопия әдісі қолданылды. ИК-спектрлер “Vertex 70V Bruker” (Германия) спектрометрінде түсірілді. Сынамалар калий бромидімен (KBr) таблетка түрінде дайындалып, спектрлер $4000\text{--}500\text{ см}^{-1}$ толқын саны аймағында тіркелді.

Тиол топтарының концентрациясын Элман әдісімен анықтау. Алынған кешен құрамындағы тиол топтарының концентрациясы Элман әдісі бойынша анықталды (Yadav et al., 2014). Бұл әдіс тиол топтарының 5,5-дитиобис-(2-нитробензой қышқылы) реагентімен әрекеттесіп, сары түсті 2-нитро-5-тиобензоат анионын түзуіне негізделген. Түзілген кешеннің қарқындылығы ультракүлгін спектрометрде өлшенді (SPECORD® 200 PLUS, Германия).

Калибрлеу қисығы (1-сурет) цистеиннің $0,3172\text{--}3,1722\text{ мкмоль/мл}$ концентрация диапазонындағы стандартты ерітінділері негізінде тұрғызылды. Полимер үлгілері фосфатты буферде (0,5 M, pH = 8,0) 2 мг/мл концентрацияда ерітіліп, алынған ерітінділерге Элман реагенті қосылды. Реакция бөлме температурасында жарықтан қорғалған ортада 90 минут бойы жүргізілді.

Реакция аяқталғаннан кейін қоспа 24 000 rpm жылдамдықта 5 минут бойы центрифугаланды. Алынған супернатанттың оптикалық тығыздығы 450 нм толқын ұзындығында өлшенді. кешен құрамындағы тиол топтарының мөлшері алдын ала тұрғызылған калибрлеу сызығы негізінде есептелді.



Сурет 1 – Цистеиннің оптикалық тығыздығының тиолды топтар концентрациясына тәуелділігін сипаттайтын калибрлеуші қисығы

Гельдің құрамының тұтқырлығы Brookfield Viscometer (Брукфилд DV-E Viscometer) арқылы келесі параметрлерде анықталды. Гидрогель тұтқырлығы жоғары болуына байланысты А3S размеріндегі саптама қолданылды. Өлшеулер 26°C температурасында техникалық құрылғы бойынша айналым саны (rpm) – 12 орнатылып жүргізілді.

Метронидазолдың гидрогельді дәрілік формасын дайындау

Буккалды дәрілік формалар ретінде қолдануға болатын мукоадгезивті гидрогельдер карбопол 940 және цистеин мен гелланның электростатикалық өзара әрекеттесуі негізінде алынған тиол-сақтаушы кешен негізінде дайындалды. Зерттеу барысында карбопол 940 мен кешеннің мөлшерлік қатынастарына, сондай-ақ кешен құрамындағы тиол топтарының мөлшеріне байланысты құрамы әртүрлі гидрогельдер әзірленді.

Алдымен метронидазолдың 1 % сулы ерітіндісінде кешеннің қажетті массасы толық ерітілді. Одан кейін алынған ерітіндіге карбопол 940 қосылып, оның соңғы концентрациясы ерітіндінің жалпы көлемінің 1 %-ын құрайтындай етіп енгізілді. Қоспа толық біртекті күйге келгенше араластырылды.

Гидрогельді дәрілік формаларды дайындау барысында ортаның рН мәні 7-ге дейін реттелді. Бейтарап ортада цистеин мен геллан арасындағы электростатикалық кешен толық бұзылмайды, алайда иондық өзара әрекеттесулердің ішінара әлсіреуі байқалуы мүмкін. Бұл құбылыс кешеннің ковалентті емес, динамикалық табиғатымен, сондай-ақ ортаның иондық күшінің артуымен түсіндіріледі. Дегенмен рН ≈ 7 жағдайында цистеиннің амин топтары негізінен протондалған күйде сақталып, гелланның карбоксильді топтарымен электростатикалық тартылыс қамтамасыз етіледі. Соның нәтижесінде кешен гидрогель құрылымында тұрақтылығын сақтай отырып, тиол топтарының муцинмен өзара әрекеттесуіне қолайлы жағдай жасайды.

Гидрогельді дәрілік формалардың құрамы кешеннің концентрациясы мен құрамындағы тиол топтарының мөлшеріне байланысты дайындалды (Кесте 1, 2). Бірінші топта геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы 10:1 деңгейінде тұрақты сақталып, кешеннің гидрогель құрамындағы концентрациясы 0; 0,5; 1 және 2 % аралығында өзгертілді.

Екінші топта кешеннің концентрациясы тұрақты (1 %) сақталып, геллан мен цистеин арасындағы өзара әрекеттесу дәрежесі геллан:цистеин мольдік қатынастары (1:0; 10:1; 2:1; 1:1) арқылы реттелді.

Барлық гидрогель үлгілерінде метронидазол мен карбопол 940дің мөлшері 1 % деңгейінде тұрақты сақталып, ортаның рН мәні 0,1 н NaOH ерітіндісімен бейтарапталды.

Кесте 1. Гидрогельдің геллан–цистеин кешенінің мөлшерінің өзгеруіне байланысты құрамы.

Геллан–цистеин мольдік қатынасы (10:1), %	Метронидазол	Карбопол	NaOH(0.1n)
0%	1%	1%	2мл
0,5%	1%	1%	3мл

1%	1%	1%	4мл
2%	1%	1%	4,5мл

Кесте 2. Гидрогельдің әртүрлі геллан–цистеин қатынасына байланысты құрамы.

1 %-тік ерітінді құрамындағы геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы	Метронидазол	Карбопол	NaOH(0.1н)
1:0	1%	1%	2мл
1:1	1%	1%	4мл
2:1	1%	1%	4мл
10:1	1%	1%	4мл

Жасанды сілекей ерітіндісін дайындау. Жасанды сілекей ерітіндісі 25 °C бөлме температурасында тұздардың толық еруіне дейін дайындалды. Дайындау барысында натрий гидрофосфаты (Na_2HPO_4), натрий гидрокарбонаты (NaHCO_4) және кальций хлориді (CaCl) белгілі мөлшерде дистилденген суға (800 мл) біртіндеп қосылып, толық ерігенге дейін араластырылды. Одан кейін ерітіндінің рН мәнін реттеу үшін 1 М тұз қышқылының (HCl) 2,5 мл көлемі қосылды. Мукоадгезивті гидрогельді дәрілік форманың шырышты бетке жабысу қабілетін бағалау үшін дайындалған жасанды сілекей ерітіндісі 37 °C температураға дейін қыздырылып, төмен жылдамдықта үздіксіз араластырылды. Ерітіндіге гидрогель үлгісі алдын ала бекітілген шыны таяқша батырылды. Гидрогельдің шырышты қабатқа адгезиялану қабілеті оның жасанды сілекей ерітіндісінде сақталу уақыты мен тұрақтылығы бойынша бағаланды.

Карбопол мен геллан–цистеин кешені негізіндегі гидрогельдердің мукоадгезивті қасиеттерін зерттеу

Алынған гидрогельді дәрілік формалардың мукоадгезивті қасиеттері визуалды әдіс арқылы бағаланды. Ол үшін гидрогель үлгілері алдын ала бриллиант көгімен (тетраэтил-4,4'-диаминотрифенилметан оксалаты), трифенилметан қатарына жататын синтетикалық анилинді бояғышпен боялды. Мукоадгезияны модельдеу мақсатында шырышты қабаттың үлгісі ретінде шошқа жағының шырышты қабаты пайдаланылды. Шырышты тін қажетті өлшемде кесіліп алынып, шырышты беті төмен қараған күйде сақинасы бар шыны таяқшаға бекітілді. Осылайша дайындалған модельдік жүйе гидрогель үлгілерінің шырышты қабат бетіне жабысу қабілетін сапалық тұрғыда бағалау үшін қолданылды. Мукоадгезивті қасиеттерді зерттеу кезінде гидрогель үлгілерінің 1/4 бөлігі жаңадан дайындалған шошқа жағының шырышты қабатына бекітіліп, айналмалы шыны дискке орналастырылды. Дискінің айналу жылдамдығы 59 айн/мин болды. Одан кейін жүйе ауыз қуысының ортасын модельдейтін жасанды сілекей ерітіндісіне (рН 6,5–6,8) батырылып, 36,5 °C температурада ұсталды. Гидрогель үлгісінің шырышты қабаттан толық ажырауына немесе толық еріп кетуіне қажетті уақыт визуалды түрде анықталды.

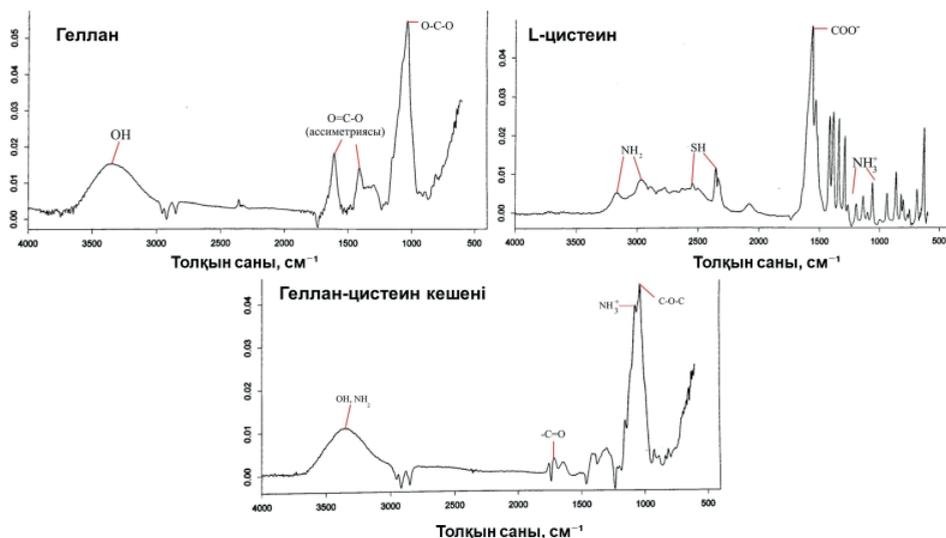
Нәтижелер және талқылау. Жұмыста мукоадгезивті қасиеттердің геллан мен цистеин арасындағы электростатикалық өзара әрекеттесу дәрежесіне, сондай-ақ кешеннің гидрогельді дәрілік форма құрамындағы концентрациясына тәуелділігі

зерттелді. Алғашқы кезеңде геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы 10:1 болып таңдалып, өзара әрекеттесу процесі 80 °С температурада 3 сағат бойы жүргізілді. Процесс аяқталғаннан кейін алынған жүйе мұздатқышта қатырылып, кейін лиофильді кептіргіште құрғатылды. Нәтижесінде сызықты құрылымды, кеуекті, қатты ақ түсті материал алынды.

Алынған кешеннің құрылымдық ерекшеліктерін сипаттау және оның құрамында тиол топтарының бар екенін растау мақсатында ИК-спектроскопия әдісі қолданылды. Сонымен қатар, тиол топтарының концентрациясы анықталып, олардың мөлшерінің бастапқы енгізілген цистеин концентрациясына тәуелділігі бағаланды. Зерттеу барысында таза гелланның, L-цистеиннің және геллан-цистеин кешенінің ИК-спектрлері өзара салыстырылды (2 сурет).

Таза гелланның ИК-спектрінде 2944,14 және 2607,92 cm^{-1} аймақтарында байқалған шырдар алкандық $-\text{CH}$ топтарының тербелістеріне сәйкес келеді. 1605–1408 cm^{-1} диапазонындағы жолақтар геллан құрамындағы карбоксилат топтарының асимметриялық және симметриялық тербелістеріне тән. Сонымен қатар, 3344,35 cm^{-1} аймағында орналасқан кең жолақ гидроксил топтарының ($-\text{OH}$) созылу тербелістерін сипаттайды.

Салыстырмалы ИК-спектроскопиялық талдау нәтижелері геллан мен цистеин арасындағы өзара әрекеттесу нәтижесінде жүйенің функционалдық топтарының химиялық ортасының өзгергенін және полимер матрицасында тиол-сақтаушы фрагменттердің бар екенін көрсетеді.



Сурет 2 – Гелланның, L-цистеиннің және геллан–L-цистеин кешенінің (1:1 қатынасында) ИК-спектрлері

Геллан мен цистеиннің әртүрлі мольдік қатынастарында цистеин–геллан электростатикалық кешенінің түзілуі нәтижесінде жүйе құрамындағы тиол топтарының концентрациясы өзгеріп отырды. Кешен құрамындағы тиол

топтарының мөлшері Элман әдісі арқылы анықталды. Бұл әдіс тиол топтарының 5,5-дитиобис-(2-нитробензой қышқылы) реагентімен әрекеттесуі нәтижесінде сары түсті кешен түзуіне негізделген, ал түзілген кешеннің абсорбциясы ультракүлгін спектрометрде (SPECORD® 200 PLUS, Германия) өлшенді.

Тиол топтарының концентрациясы стандартты цистеин ерітінділері үшін алынған абсорбция мәндерін сызықтық функция түрінде калибрлеу графигіне түсіру арқылы есептелді. Калибрлеу графигі 1-суретте келтірілген. Кешен үлгілеріндегі тиол топтарының сандық мәндері алынған полимер массасын ескере отырып, зат мөлшерінің массаға қатынасы ретінде есептеліп, 3-кестеде көрсетілді.

Алынған нәтижелер геллан–L-цистеин кешендері негізіндегі мукоадгезивті гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақыты ең алдымен тиол топтарының мөлшеріне және кешеннің гидрогель құрамындағы концентрациясына тәуелді екенін көрсетті. Бұл қорытынды тиолданған полимерлерге арналған соңғы шетелдік шолулармен сәйкес келеді: тиол-топтары муциннің цистеинге бай домендерімен дисульфидтік байланыстар (немесе тиол–дисульфид алмасу) түзу арқылы мукоадгезияны күшейтіп, жүйенің резиденттік уақытын арттырады (Mfoafo et al., 2023). Мысалы, геллан:цистеин қатынасы 2:1 болатын жүйеде тиол топтарының концентрациясы 10:1 қатынасындағы үлгімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары болды. Бұл деректер цистеиннің геллан матрицасымен электростатикалық өзара әрекеттесуінің тиімді екенін және кешен құрамындағы тиол топтарының мөлшерін бастапқы компоненттердің мольдік қатынасын өзгерту арқылы реттеуге болатынын көрсетеді.

Кесте 3. Элман әдісімен анықталған цистеин–геллан кешенінің құрамындағы тиол топтарының концентрациясы.

[Геллан:цистеин] мольдік қатынасы	Тиол топтарының концентрациясы, C(-SH), мкмоль/мл	Полимер массасына шаққандағы тиол топтарының концентрациясы, мкмоль/мг
1:1	1,9156	0,9578
2:1	0,8769	0,4384
10:1	0,3738	0,1869

Геллан мен цистеин арасындағы өзара әрекеттесу негізінде мукоадгезивті гидрогельді дәрілік формалар дайындалды. Алынған гидрогельдер құрамдық ерекшеліктеріне байланысты екі топқа жіктелді. Бірінші топта геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы 10:1 деңгейінде тұрақты сақталып, кешеннің гидрогель құрамындағы концентрациясы 0; 0,5; 1 және 2 % аралығында өзгертілді. Екінші топта, керісінше, гидрогель құрамындағы кешеннің концентрациясы тұрақты (1 %) сақталып, геллан мен цистеин арасындағы өзара әрекеттесу дәрежесі олардың мольдік қатынастары арқылы реттелді. Атап айтқанда, таза геллан және геллан:цистеин мольдік қатынастары 10:1, 2:1 және 1:1 болатын жүйелер қарастырылды. Барлық дайындалған мукоадгезивті гидрогельдер мөлдір, біртекті және тұтқыр консистенцияға ие болды.

Гидрогельдердің физика-химиялық қасиеттерін сипаттау мақсатында олардың тұтқырлығы вискозиметр көмегімен анықталды. Зерттеулер бөлме температурасында жүргізілді, ал тәжірибе нәтижесінде алынған тұтқырлық мәндері 4-кестеде келтірілген. Алынған деректерге сәйкес, құрамында кешен жоқ гидрогель үлгісі ең жоғары тұтқырлық мәнін көрсетті. Ал геллан–цистеин кешені бар гидрогельдердің тұтқырлығы полимерсіз үлгімен салыстырғанда ұқсас деңгейде болды. Бұл алынған жүйелердің қолдануға қолайлы реологиялық қасиеттерге ие екенін көрсетеді. Осылайша, дайындалған мукоадгезивті гидрогельдер дәрілік заттарды жергілікті жеткізу жүйелері ретінде перспективалы болып табылады. Вискозиметрмен анықталған гидрогельді дәрілік форманың тұтқырлығы.

Геллан–цистеин кешені негізінде дайындалған мукоадгезивті гидрогельдердің мукоадгезияға қабілеті визуалды әдіспен бағаланды. Зерттеу әрбір үлгі үшін үш рет қайталанып, модельдік шырышты қабат ретінде шошқа жағының шырышты қабаты пайдаланылды. Гидрогельдер шырышты бетке жағылып, 37 °С температурада жасанды сілекей ерітіндісінде зерттелді. Ауыз қуысының жасанды моделі ұйымдастырылып, тәжірибе барысында әр бес минут сайын бейнебақылау жүргізілді.

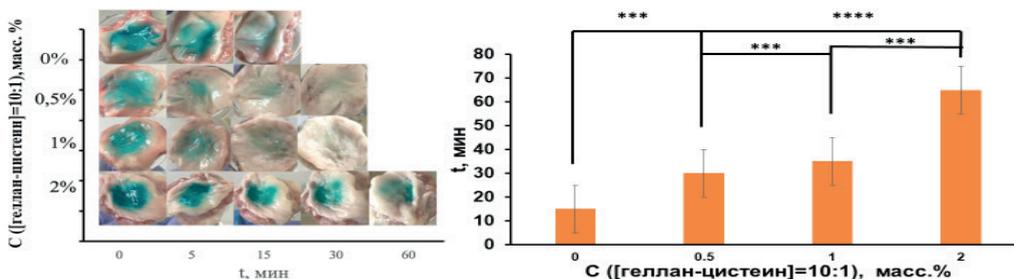
Кесте 4. Гидрогельді дәрілік формалардың реологиялық қасиеттері.

Үлгі	Аспаптық жүктеме, %	Тұтқырлығы, mPa·s
Кешенсіз гидрогель	69,50	62,28
Таза геллан негізіндегі гидрогель	50,00	44,31
кешен, 0,5 % геллан:цистеин = 10:1	42,00	37,62
кешен, 1 % геллан:цистеин = 10:1	45,50	41,07
кешен, 2 % геллан:цистеин = 10:1	67,60	61,27
Геллан:цистеин = 2:1, 1 %	64,00	61,27
Геллан:цистеин = 1:1, 1 %	68,00	60,69

Мукоадгезивті қасиеттерді бағалау екі топ үлгілер үшін жүзеге асырылды: кешеннің тиол топтарының мөлшеріне және гидрогель құрамындағы полимер концентрациясына байланысты. Алғашқы топта геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы 10:1 деңгейінде тұрақты сақталып, гидрогель құрамындағы кешеннің концентрациясы өзгертілді. Құрамында кешен жоқ карбопол 940 негізіндегі гидрогельдің шырышты қабатта ұсталу уақыты шамамен 17 минутты құрады. Полимер концентрациясы 0,5 % және 1 % болатын гидрогельдер үшін бұл көрсеткіш сәйкесінше 29 және 35 минутқа дейін артты. Ең жоғары мукоадгезивті қасиет кешеннің концентрациясы 2 % болатын гидрогель үлгісінде байқалды, ол шошқа жағының шырышты қабатында бір сағаттан астам уақыт бойы сақталды.

Алынған бейнематериалдардың ішінен ең айқын көріністер 3-суретте шартты график түрінде және гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақытының полимер концентрациясына тәуелділігі қателік жолақтарымен берілген бағанды диаграмма түрінде ұсынылды. Жалпы алынған нәтижелер кешен құрамындағы

тиол топтарының мөлшері мен гидрогельдегі полимер концентрациясы артқан сайын мукоадгезивті гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақыты ұлғаятынын көрсетеді, бұл оларды дәрілік заттарды жергілікті жеткізу жүйелері ретінде қолданудың перспективалы екенін дәлелдейді.



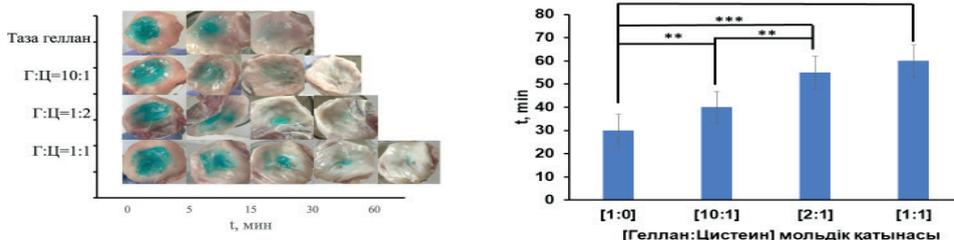
Сурет 3 – Құрамында метронидазол бар гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу қабілетін бағалау (геллан–цистеин кешені, қатынасы 10:1):

- шошқа жағының шырышты қабаты бетінде гидрогель үлгілерінің әртүрлі уақыт мезеттеріндегі (0–60 мин) визуалды көріністері;
- гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақытының полимер концентрациясына тәуелділігін көрсететін бағанды диаграмма (қателік жолақтарымен). Статистикалық мәнділік келесідей белгіленді: **** – $p < 0,0001$; *** – $p < 0,001$.

Мукоадгезивті қасиеттерді бағалаудың екінші тобы геллан–цистеин кешеніндегі тиол топтарының мөлшеріне, яғни тиолдану дәрежесіне байланысты салыстырылды. Алғашқы үлгі ретінде құрамында тиол топтары жоқ таза геллан негізіндегі гидрогель алынды, оның шырышты қабат бетінде ұсталу уақыты шамамен 30 минутты құрады. Екінші үлгіде геллан мен цистеиннің мольдік қатынасы 10:1 болғанымен, гидрогельдің шырышты қабатта ұсталу уақыты 35 минут шамасында болып, таза гелланмен салыстырғанда айтарлықтай айырмашылық байқалмады.

Ал геллан:цистеин мольдік қатынастары 2:1 және 1:1 болатын үлгілер үшін мукоадгезивті қасиеттердің едәуір артуы анықталды. Атап айтқанда, 2:1 қатынасындағы гидрогельдің шырышты қабатта ұсталу уақыты шамамен 55 минутты, ал 1:1 қатынасындағы гидрогель үшін бұл көрсеткіш 60 минутты құрады. Бұл мәндер бастапқы үлгілермен салыстырғанда шамамен екі есе жоғары болып, тиол топтарының мөлшері артқан сайын мукоадгезивті қасиеттердің күшейетінін айқын көрсетеді.

Тәжірибе нәтижелерін қорытындылайтын фотосуреттер және гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақытының тиолдану дәрежесіне сандық тәуелділігі 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4 – Мукоадгезивті гидрогельдердің тиолдану дәрежесіне байланысты шырышты қабатта ұсталу қабілетін бағалау (карбопол концентрациясы – 1 %):

- а) геллан–цистеин жүйесінің әртүрлі мольдік қатынастары (таза геллан, Г:Ц = 10:1, 2:1 және 1:1) үшін шошқа жағының шырышты қабаты бетінде гидрогель үлгілерінің әртүрлі уақыт мезеттеріндегі (0–60 мин) визуалды көріністері;
- б) гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақытының геллан–цистеин мольдік қатынасына (тиолдану дәрежесіне) тәуелділігін көрсететін бағанды диаграмма. Статистикалық мәнділік келесідей белгіленді: **** – $p < 0,0001$; *** – $p < 0,001$; ** – $p < 0,01$.

Зерттеу нәтижелері геллан–цистеин кешені негізіндегі мукоадгезивті гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақыты олардың құрамына және кешендегі тиол топтарының мөлшеріне тәуелді екенін, ал тұтқырлықтың бұл көрсеткішке айтарлықтай әсер етпейтінін көрсетті. Цистеинмен өзара әрекеттесу нәтижесінде түзілетін тиол және амин топтары шырышты қабат гликопротеидтерімен дисульфидтік және сутектік байланыстар түзу арқылы мукоадгезивті қасиеттердің артуына ықпал етеді, бұл алынған гидрогельдердің жергілікті дәрілік жеткізу жүйелері ретіндегі перспективалылығын айқындайды.

Сонымен қатар, соңғы жарияланымдарда (Fürst et al., 2024), мукоадгезивті гидрогельдердің тиімділігін арттыру үшін тиол топтарын қорғау немесе тұрақтандыру және құрылымдық дизайн тәсілдерін қолдану ұсынылатыны көрсетілген. Осыған байланысты геллан–цистеин жүйесінде тиол топтарының мөлшерін мольдік қатынас арқылы реттеу халықаралық үрдістермен үйлесетін әрі әрі қарай оңтайландыруға болатын бағыт болып табылады.

Қорытынды. Бұл жұмыста геллан мен L-цистеиннің әртүрлі мольдік қатынастарында (10:1, 2:1 және 1:1) алынған кешендердің құрылымдық және функционалдық қасиеттері жүйелі түрде зерттелді. ИК-спектроскопия және Элман әдісі нәтижелері бастапқы жүйедегі цистеин мөлшерінің артуы кешен құрамындағы еркін тиол топтарының концентрациясының ұлғаюына алып келетінін көрсетті.

Алғаш рет геллан–L-цистеин кешендері негізінде мукоадгезивті гидрогельді дәрілік формалар әзірленіп, олардың реологиялық және мукоадгезивті қасиеттері өзара байланыста бағаланды. Вискозиметриялық зерттеулер гидрогельдердің тұтқырлығы олардың құрамына тәуелді екенін көрсеткенімен, бұл параметр мукоадгезивті қасиеттерге шешуші әсер етпейтіні анықталды. Керісінше, тиол топтарының мөлшері мен кешен концентрациясының артуы гидрогельдердің шырышты қабатта ұсталу уақытын едәуір ұлғайтатыны эксперименттік түрде дәлелденді.

Алынған нәтижелер геллан–цистеин кешендеріндегі тиол топтарының

мукоадгезия механизмінде негізгі рөл атқаратынын айқындайды және зерттелген жүйелердің жаңа функционалдық мукоадгезивті материалдар ретіндегі ғылыми жаңалығын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері шырышты қабат арқылы енгізілетін дәрілік заттарға арналған мукоадгезивті жеткізу жүйелерін (оральды, назальды, вагинальды және офтальмологиялық дәрілік формалар) әзірлеуде практикалық маңызға ие және фармацевтикалық технология мен биомедициналық материалдар саласындағы кейінгі қолданбалы зерттеулер үшін негіз бола алады.

References

- Ahuja A., Ali J., & Rahman S. (2006). Polymers for pharmacy. *Pharmazie*, 61(1). – P. 25-29. (in English)
- Batchelor H. (2004). New medical forms. *The Drug Delivery Companies Report*, 83(9), 16-19. (in English)
- Birudaraj, R., Mahalingam R., Li X., & Jasti B.R. (2005). Bioadhesive materials. *Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 22(3), 295-330. (in English)
- Cook S.L., Bull S.P., Methven L., Parker J.K., & Khutoryanskiy V.V. (2017). Mucoadhesion: A food perspective. *Food Hydrocolloids*, 72. – P. 281-296. (in English)
- Costantino H.R., Illum L., Brandt G., et al. (2007). Intranasal delivery: Physicochemical and therapeutic aspects. *International Journal of Pharmaceutics*, 337(1–2). – P. 1-24. (in English)
- Critchley H., Davis S.S., Farraj N.F., & Illum L. (2004). Carbomer-based drug delivery systems. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 46(8). – P. 651-656. (in English)
- Duclos P. (2004). New medical systems. – *Vaccine*, 22(15–16). – P. 2059-2063. (in English)
- Fürst A., Kali G., Dizdarević A., Stengel D., Bernkop-Schnürch A. (2024) Mucoadhesive polymers: Design of S-protected thiolated cyclodextrin-based hydrogels. *International Journal of Pharmaceutics*, 656, 124075. (in English)
- Illum L. (2003). Mucoadhesion. *Journal of Controlled Release*, 87(1–3). – P. 187-198. (in English)
- Illum L., Farraj N.F., Fisher A.N., et al. (2016). Adsorption properties of mucosa. *Journal of Controlled Release*, 29(4). – P. 133-141. (in English)
- Jodar L., Duclos P., & Milstien J.B. (2001). GIT medical forms. *Vaccine*, 19(13–14). – P. 1594–1605. (in English)
- Junginger H.E., Hoogstraate J.A., & Verhoef J.C. (2008). Formulation of gels. *Journal of Controlled Release*, 62(1-2). – P. 149-159. (in English)
- Koping-Hoggard M., Sanchez A., & Alonso M.J. (2006). Characterisation of carbomer gels. *Expert Review of Vaccines*, 4. – P. 185-196. (in English)
- Mfoafo K., Mittal R., Eshraghi A., Omidi Y., Omidian H. (2023) Thiolated polymers: an overview of mucoadhesive properties and their potential in drug delivery via mucosal tissues. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 85, 104596. (in English)
- O'Hagan D.T., & Rappuoli R. (2004). Drugs dosage for different medical forms. *Pharmaceutical Research*, 21(9). – P. 1519-1530. (in English)
- Oliveira J.T., Martins L., Picciocchi R., Malafaya P.B., Sousa R.A., Neves N.M., Mano J.F., & Reis R.L. (2010). Gellan gum: A new biomaterial for cartilage tissue engineering applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 93(3). – P. 852-863. (in English)
- Smith A.M., Shelton R.M., Perrie Y., & Harris J.J. (2007). An initial evaluation of gellan gum as a material for tissue engineering applications. *Journal of Biomaterials Applications*, 22(3). – P. 241-254. (in English)
- Ugwoke M.I., Agu R.U., Verbeke N., & Kinget R. (2005). Types of medical drug delivery systems. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 43(4). – P. 1640-1665. (in English)
- Yadav S., Ahuja M., Kumar A., & Kaur H. (2014). Gellan-thioglycolic acid conjugate: Synthesis, characterization and evaluation as mucoadhesive polymer. *Carbohydrate Polymers*, 99(2). – P. 601-607. (in English)
- Zelikin A.N., Ehrhardt C., & Healy A.M. (2016). Materials and methods for delivery of biological drugs. *Nature Chemistry*, 8(11). – P. 997-1007. (in English)

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

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

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

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x88¹/₈.
18,0 п.л. Заказ 1.