

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

**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>

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/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 Ержанұлы, 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 агенттігінің 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 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 Искендиринович, 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>

ТАКИББАЕВ 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>

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., Spassyuk 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

Аймағанбетова 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., Аскарлова 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), 287–303

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.421>

UDC: 547.458:678.7:620.22
IRSTI: 31.25.19

©Darmenbayeva A.S.^{1,*}, Rajasekharan R.², Zhussipnazarova G.M.¹,
Mukazhanova Zh.B.³, Begenova B.E.⁴, 2026.

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan;

²Providence College of Engineering, Kerala, India;

³S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;

⁴M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan.

E-mail: maral88.ad@gmail.com

COMPOSITES BASED ON CHITOSAN AND CELLULOSE: SYNTHESIS, PROPERTIES AND APPLICATION PROSPECTS

Darmenbayeva Akmaral — PhD in Chemistry, Associate Professor, M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan, E-mail: maral88.ad@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>;

Rajasekharan Reshmy — PhD in Chemistry, Associate Professor, Providence Engineering College, Kerala, India,

E-mail: reshmykumar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2091-0135>;

Zhussipnazarova Gaziza — doctoral student, M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan,

E-mail: jgm.092016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5175-5169>;

Mukazhanova Zhazira — PhD, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

E-mail: mukazhanovazhb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4635-8000>;

Begenova Bahyt — Professor, Doctor of Chemical Sciences, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan,

E-mail: bebergenova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6343-1153>.

Abstract. In recent years, chitosan-cellulose composites have attracted growing attention in both scientific research and industrial development due to their biodegradability, biocompatibility, renewability, and broad functional potential. These biopolymer-based materials are increasingly regarded as environmentally friendly alternatives to conventional petrochemical polymers, particularly in response to global challenges related to sustainability, environmental protection, and resource efficiency. Chitosan-cellulose composites have demonstrated significant promise in medicine, water and wastewater treatment, food packaging technologies, and ecological applications. The aim of this review article is to systematize contemporary approaches to the synthesis and modification of chitosan-cellulose composites, to analyze the relationship between their structural features and functional properties, and to assess their prospects for practical and industrial application. A critical analysis of scientific

publications published in leading peer-reviewed journals between 2000 and 2025 was conducted. The review compares key fabrication and modification techniques, including gelation, electrospinning, regeneration from solution, chemical cross-linking, and surface functionalization, with particular attention to their influence on composite performance. The analysis shows that the incorporation of cellulose, especially in micro- and nanostructured forms, significantly enhances the mechanical strength, dimensional stability, and durability of the composites. At the same time, the presence of chitosan provides reactive functional groups that impart high sorption capacity, antimicrobial activity, and bioactivity. In water treatment applications, chitosan-cellulose composites exhibit high adsorption efficiency toward heavy metal ions and organic contaminants, while in food packaging they demonstrate reduced gas and moisture permeability. Moreover, biodegradability, low toxicity, and environmental safety are identified as key advantages of these materials. Overall, chitosan-cellulose composites represent promising multifunctional materials for future large-scale applications, particularly within the framework of green technologies, circular economy principles, and advanced nanostructured systems.

Keywords: chitosan; cellulose; biocomposite; sorbents; hydrogel; nanofiber; biodegradable packaging materials

Financing. *The study was conducted with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (AP22686347).*

For citations: *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. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 287–303. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.421>*

©Дарменбаева А.С.^{1,*}, Rajasekharan R.², Жусипназарова Г.М.¹, Мукажанова Ж.Б.³, Бегенова Б.Е.⁴, 2026.

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан;

²Провиденс инженерлік колледжі, Керала, Үндістан;

³С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан;

⁴М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан.

E-mail: maral88.ad@gmail.com

ХИТОЗАН ЖӘНЕ ЦЕЛЛЮЛОЗА НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИТТЕР: СИНТЕЗ, ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Дарменбаева Ақмарал — PhD (химия), қауымдастырылған профессор, М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,

E-mail: maral88.ad@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>;

Rajasekharan Reshmy — PhD (химия), қауымдастырылған профессор, Провиденс инженерлік



колледжі, Керала, Үндістан,

E-mail: reshmyrkumar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2091-0135>;

Жусипназарова Газиза — PhD докторант, М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,

E-mail: jgm.092016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5175-5169>;

Мукажанова Жазира — PhD, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан,

E-mail: mukazhanovazhb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4635-8000>;

Бегенова Бакыт — профессор, химия ғылымдарының докторы, М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан,

E-mail: bebenova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6343-1153>.

Аннотация. Соңғы жылдары хитозан-целлюлоза композиттері биоыдырағыштығы, биоүйлесімділігі, жаңартылуы және кең функционалдық әлеуетіне байланысты ғылыми зерттеулерде де, өнеркәсіптік дамуда да назар аударды. Бұл биополимер негізіндегі материалдар, әсіресе тұрақтылыққа, қоршаған ортаны қорғауға және ресурстарды тиімді пайдалануға байланысты жаһандық қиындықтарға жауап ретінде, дәстүрлі мұнай-химия полимерлеріне экологиялық таза балама ретінде қарастырылуда. Хитозан-целлюлоза композиттері медицинада, су мен ағынды суларды тазартуда, тамақ өнімдерін қаптау технологияларында және экологиялық қолдануда айтарлықтай перспективалылық көрсетті. Бұл шолу мақаласының мақсаты - хитозан-целлюлоза композиттерін синтездеу мен модификациялаудың заманауи тәсілдерін жүйелеу, олардың құрылымдық ерекшеліктері мен функционалдық қасиеттері арасындағы байланысты талдау және олардың практикалық және өнеркәсіптік қолданылу перспективаларын бағалау. 2000 және 2025 жылдар аралығында жетекші рецензияланған журналдарда жарияланған ғылыми жарияланымдарға сыни талдау жүргізілді. Шолуда композиттік өнімділікке әсеріне ерекше назар аудара отырып, гелеу, электроспиннинг, ерітіндіден регенерацияны қоса алғанда, негізгі өндіріс және модификациялау әдістері салыстырылады. Талдау целлюлозаны, әсіресе микро және наноқұрылымды формаларда қосу композиттердің механикалық беріктігін, өлшемдік тұрақтылығын және төзімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетеді. Сонымен қатар, хитозанның болуы жоғары сорбциялық қабілеттілік, микробқа қарсы белсенділік және биоактивтілік беретін реактивті функционалдық топтарды қамтамасыз етеді. Суды тазарту қолданбаларында хитозан-целлюлоза композиттері ауыр металл иондары мен органикалық ластаушы заттарға жоғары адсорбциялық тиімділік көрсетеді, ал тамақ қаптамасында олар газ бен ылғал өткізгіштігінің төмендеуін көрсетеді. Сонымен қатар, биоыдырағыштық, төмен уыттылық және экологиялық қауіпсіздік бұл материалдардың негізгі артықшылықтары ретінде анықталған. Жалпы алғанда, хитозан-целлюлоза композиттері болашақта кең ауқымды қолданбалар үшін, әсіресе жасыл технологиялар, айналмалы экономика принциптері және озық наноқұрылымды жүйелер шеңберінде перспективалы көпфункционалды материалдар болып табылады.

Түйін сөздер: хитозан; целлюлоза; биокомпозит; сорбенттер; гидрогель; наноталшық; биоыдырайтын орау материалдары

©Дарменбаева А.С.^{1*}, Rajasekharan R.², Жусипназарова Г.М.¹, Мукажанова Ж.Б.³, Бегенова Б.Е.⁴, 2026.

¹Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

²Инженерный колледж Провиденса, Керала, Индия;

³Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан;

⁴Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан.

E-mail: maral88.ad@gmail.com

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Дарменбаева Акмарал — PhD по химии, ассоциированный профессор, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: maral88.ad@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>;

Rajasekharan Reshmy — PhD по химии, ассоциированный профессор, Инженерный колледж Провиденса, Керала, Индия,

E-mail: reshmyrkumar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2091-0135>;

Жусипназарова Газиза — докторант, Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

E-mail: jgm.092016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5175-5169>;

Мукажанова Жазира — PhD, Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,

E-mail: mukazhanovazhb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4635-8000>;

Бегенова Бакыт — профессор, доктор химических наук, Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан,

E-mail: bebegenova@ku.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-6343-1153>.

Аннотация. В последние годы хитозан-целлюлозные композиты привлекают все большее внимание как в научных исследованиях, так и в промышленности благодаря своей биоразлагаемости, биосовместимости, возобновляемости и широкому функциональному потенциалу. Эти биополимерные материалы все чаще рассматриваются как экологически безопасная альтернатива традиционным нефтехимическим полимерам, особенно в условиях глобальных вызовов, связанных с устойчивым развитием, охраной окружающей среды и рациональным использованием ресурсов. Хитозан-целлюлозные композиты демонстрируют значительный потенциал в медицине, очистке воды и сточных вод, технологиях упаковки пищевых продуктов, а также в других экологически ориентированных областях применения. Цель настоящей обзорной статьи заключается в систематизации современных подходов к синтезу и модификации хитозан-целлюлозных композитов, анализе взаимосвязи между их структурными особенностями и функциональными свойствами, а также в оценке перспектив их практического и промышленного применения. Для достижения этой цели

был проведен критический анализ научных публикаций, опубликованных в ведущих рецензируемых журналах в период с 2000 по 2025 год. В обзоре сопоставляются основные методы получения и модификации композитов, включая гелеобразование, электропрядение и регенерацию из раствора, с особым вниманием к их влиянию на свойства материалов. Анализ показывает, что введение целлюлозы, особенно в микро- и наноструктурированной форме, существенно повышает механическую прочность, размерную стабильность и долговечность композитов. В то же время присутствие хитозана обеспечивает наличие реакционноспособных функциональных групп, придающих материалам высокую сорбционную способность, антимикробную активность и биоактивность. В системах водоочистки хитозан-целлюлозные композиты демонстрируют высокую эффективность адсорбции ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей, а в пищевой упаковке — снижение газо- и влагопроницаемости. Ключевыми преимуществами данных материалов также являются биоразлагаемость, низкая токсичность и экологическая безопасность. В целом хитозан-целлюлозные композиты представляют собой перспективные многофункциональные материалы для будущего крупномасштабного применения, особенно в рамках «зеленых» технологий, принципов циркулярной экономики и разработки передовых наноструктурированных систем.

Ключевые слова: хитозан; целлюлоза; биокompозит; сорбенты; гидрогель; нановолокно; биоразлагаемые упаковочные материалы

Кіріспе. Қазіргі таңда қоршаған ортаның ластануы, мұнай-химиялық полимерлерге тәуелділіктің артуы және биомедициналық материалдарға қойылатын қауіпсіздік талаптарының күшеюі функционалды биополимерлік композиттерді әзірлеуді өзекті ғылыми бағыттардың біріне айналдырды. Осы тұрғыдан алғанда табиғи, жаңартылатын және биоыдырайтын полисахаридтерге негізделген материалдар экология, медицина және аграрлық технологиялар салаларында кең қолдану әлеуетіне ие болып отыр (Strnad and Fras Zemljic, 2023).

Хитозан мен целлюлоза – табиғи шығу тегі, биосәйкестігі және құрылымдық икемділігімен ерекшеленетін полисахаридтер. Хитозан – хитиннің ішінара деацетилденген туындысы болып, құрамында протондануға және кешен түзуге қабілетті амин топтарының болуына байланысты жоғары сорбциялық және антимикробтық қасиеттер көрсетеді (Dash et al., 2011). Ал целлюлоза өсімдік биомассасының негізгі компоненті ретінде жоғары механикалық беріктікке, химиялық тұрақтылыққа (яғни уақыт өте келе механикалық және химиялық қасиеттерін сақтап қалу қабілеті) және кең ауқымды химиялық модификация мүмкіндігіне ие. Бұл екі биополимерді бір композиттік жүйеде біріктіру синергетикалық әсердің пайда болуына әкеледі: целлюлоза матрицасы материалдың құрылымдық және механикалық тұрақтылығын қамтамасыз етсе, хитозан функционалдық белсенділікті, соның ішінде сорбциялық қабілет пен биологиялық әсерді күшейтеді. Мұндай композиттерде сутектік байланыстар, электростатикалық өзара әрекеттесулер және кейбір жағдайларда ковалентті

айқаспалы байланыстар түзілуі мүмкін, бұл материал қасиеттерін мақсатты түрде басқаруға мүмкіндік береді (Habibi, 2014).

Соңғы жылдары хитозан-целлюлоза композиттерін алудың әртүрлі әдістері қарқынды дамуда, оның ішінде гель түзуші, электрлік иіру, ерітіндіден қайта қалпына келтіру, қабат-қабат (layer-by-layer) жинақтау және кеуекті аэрогельдік құрылымдар қалыптастыру тәсілдері кеңінен зерттелуде (Niu et al., 2023). Бұл әдістер композиттердің морфологиясын, кеуектілігін, беттік ауданын және функционалдық топтарының қолжетімділігін реттеуге мүмкіндік береді, ал бұл олардың қолдану тиімділігіне тікелей әсер етеді.

Хитозан-целлюлоза композиттері ауыр металл иондарын және органикалық ластағыштарды тиімді байланыстыратын сорбенттер ретінде су тазалау технологияларында, жаранымедеуге арналған биоматериалдармен дәрілік заттарды жеткізу жүйелерінде, сондай-ақ биоыдырайтын (табиғи немесе ферментативтік ортада экологиялық зиянсыз өнімдерге ыдырау қабілеті) және антимикробтық орау материалдары ретінде тағам өнеркәсібінде қолданылуда. Сонымен қатар, соңғы зерттеулерде бұл композиттердің энергетика саласындағы перспективалары, атап айтқанда протоналмасу мембраналары мен биополимерлік электролиттер ретінде қолданылу мүмкіндігі қарастырылуда (Ahmed, 2026). Алайда, хитозан-целлюлоза негізіндегі композиттердің кең ауқымды қолданылуына кедергі келтіретін бірқатар мәселелер сақталуда. Олардың қатарына материалдардың ұзақ мерзімді тұрақтылығы, ылғал ортадағы механикалық қасиеттердің төмендеуі, өндірісті масштабтау қиындығы және қасиеттерді стандарттау қажеттілігі жатады. Осыған байланысты, композиттерді синтездеу тәсілдерін, құрылым-қасиет арасындағы өзара байланысты және қолдану бағыттарын жүйелі түрде талдау ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады. Мақаланың мақсаты – хитозан және целлюлоза негізіндегі композиттерді синтездеудің қазіргі заманғы әдістерін жинақтап талдау, олардың негізгі физика-химиялық және функционалдық қасиеттерін сипаттау, сондай-ақ экология, медицина және агроөнеркәсіп салаларындағы қолдану перспективаларын айқындау.

Зерттеу материалдары. Бұл мақалада материалдары ретінде хитозан, целлюлоза және олардың негізінде алынған композиттік жүйелерге арналған отандық және шетелдік ғылыми жарияланымдар пайдаланылды. Зерттеу нысанына хитозан-целлюлоза композиттерінің әртүрлі түрлері, соның ішінде гидрогельдер, аэрогельдер, наноталшықтар, үлбірлер және кеуекті сорбенттік материалдар енгізілді. Талдауға алынған әдеби дереккөздерде композиттерді синтездеудің және модификациялаудың заманауи әдістері, олардың құрылымдық ерекшеліктері, механикалық, сорбциялық, тосқауылдық және биологиялық қасиеттері, сондай-ақ медицинада, су тазалауда және тағамдық орау технологияларында қолдану мүмкіндіктері қарастырылған. Материал ретінде пайдаланылған деректер 2000-2025 жылдар аралығында жарияланған, эксперименттік нәтижелер мен сандық көрсеткіштерді қамтитын ғылыми жұмыстардан іріктелді.

Зерттеу әдістері. Әдеби деректерді жинау және іріктеу Web of Science, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink және MDPI дерекқорларында индекстелген

рецензияланатын журналдар негізінде жүргізілді. Іздеу барысында *chitosan*, *cellulose*, *chitosan–cellulose composites*, *biopolymer composites*, *hydrogels*, *adsorbents*, *wound dressing*, *food packaging* сияқты кілт сөздер және олардың әртүрлі комбинациялары қолданылды. Іріктеу критерийлері ретінде зерттеулердің ғылыми сапасы, әдістемелік анықтығы, алынған нәтижелердің сенімділігі және практикалық маңыздылығы қарастырылды. Қайталанатын, ескірген немесе жеткілікті эксперименттік негізі жоқ жұмыстар талдауға енгізілмеді. Таңдап алынған жарияланымдарда ұсынылған деректер салыстырмалы және жүйелі талдау әдістері арқылы өңделді. Композиттерді алу тәсілдері (гель түзуші, электрлік иіру, ерітіндіден қайта қалпына келтіру), құрылымдық параметрлері және функционалдық қасиеттері құрылым-қасиет-қолдану өзара байланысы тұрғысынан бағаланды. Алынған нәтижелер хитозан-целлюлоза композиттерінің қазіргі жағдайын және болашақ даму бағыттарын анықтау үшін қорытындыланды.

Нәтиже мен талқылау. Хитозан мен целлюлоза табиғи полисахаридтер класына жататын, химиялық құрылымы мен функционалдық топтарының табиғаты бойынша ерекшеленетін биополимерлер болып табылады. Олардың құрылымдық ерекшеліктері мен физика-химиялық қасиеттері композиттік материалдар түзу үшін кең мүмкіндіктер ашады.

Хитозанның химиялық құрылымы және қасиеттері. Хитозан хитиннің ішінара немесе толық деацетилденуі нәтижесінде алынатын сызықтық полисахарид болып табылады. Оның негізгі құрылымдық буыны β -(1→4)-байланыс арқылы жалғасқан D-глюкозамин және N-ацетил-D-глюкозамин қалдықтарынан тұрады. Хитозан молекуласындағы басты функционал топтар – амин ($-\text{NH}_2$) және гидроксил ($-\text{OH}$) топтары, олар молекулааралық сутектік байланыстар түзуге, протондануға және металл иондарымен кешен түзуге қабілетті. Хитозанның физика-химиялық қасиеттері деацетилдену дәрежесіне, молекулалық массасына және кристалдылық деңгейіне тәуелді. Қышқыл ортада амин топтарының протондануы нәтижесінде хитозан катиондық полимер ретінде әрекет етеді, бұл оның су ерітінділерінде ерігіштігін және биологиялық белсенділігін арттырады. Осы қасиет хитозанды аниондық ластағыштармен және теріс зарядталған беттермен өзара әрекеттесуге қабілетті етеді. Биологиялық тұрғыдан хитозан биосәйкестігімен, биоыдырағыштығымен және антимикробтық белсенділігімен сипатталады. Оның бактериялар мен саңырауқұлақтарға қарсы әсері жасуша қабырғасымен электростатикалық әрекеттесуге және мембрананың өткізгіштігін бұзуға негізделген (Rinaudo, 2006). Осы себепті хитозан медицинада, тағам өнеркәсібінде және экологиялық технологияларда кеңінен зерттеліп келеді.

Целлюлозаның химиялық құрылымы және қасиеттері. Целлюлоза – β -(1→4)-гликозидтік байланыстар арқылы байланысқан D-глюкопираноза қалдықтарынан тұратын табиғи полисахарид. Оның молекуласында көп мөлшерде гидроксил топтарының болуы целлюлозаның дамыған сутектік байланыстар жүйесін түзуіне және жоғары кристалдылық деңгейіне әкеледі (Klemm et al., 2023). Бұл қасиеттер целлюлозаның механикалық беріктігін және құрылымдық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Целлюлоза табиғи жағдайда суда ерімейді, алайда химиялық модификация немесе регенерациялау арқылы әртүрлі туындыларын (карбоксиметилцеллюлоза, целлюлоза ацетаты, наноцеллюлоза) алуға болады. Наноөлшемді целлюлоза түрлері (нанофибрилдер, нанокристалдар) жоғары меншікті бет ауданына және ерекше механикалық қасиеттерге ие, бұл оларды композиттік материалдар үшін тиімді толтырғыштар етеді. Целлюлоза биосәйкесті, улы емес және қоршаған ортада оңай ыдырайтын материал болып табылады. Оның өсімдік қалдықтарынан, агроөнеркәсіптік биомассадан алынуы тұрақты даму қағидаттарына сәйкес келеді және целлюлозаны «жасыл» материалдар қатарында маңызды орынға қояды (Darmenbayeva et al., 2025).

Хитозан мен целлюлозаны композиттер жасауда қолданудың артықшылықтары. Хитозан мен целлюлозаны бір композиттік жүйеде біріктіру олардың жеке кемшіліктерін өзара толықтыруға мүмкіндік береді. Целлюлоза матрицасы композитке механикалық беріктік пен пішін тұрақтылығын берсе, хитозан функционалдық белсенділікті, соның ішінде сорбциялық және биологиялық қасиеттерді қамтамасыз етеді. Бұл биополимерлер арасында сутектік байланыстар, электростатикалық тартылыс және кей жағдайларда ковалентті байланыстар түзілуі мүмкін, нәтижесінде құрылымдық біртектілігі жоғары композиттер қалыптасады. Мұндай өзара әрекеттесулер материалдың кеуектілігін, ісіну қабілетін және беттік қасиеттерін реттеуге мүмкіндік береді (Isogai, 2021).

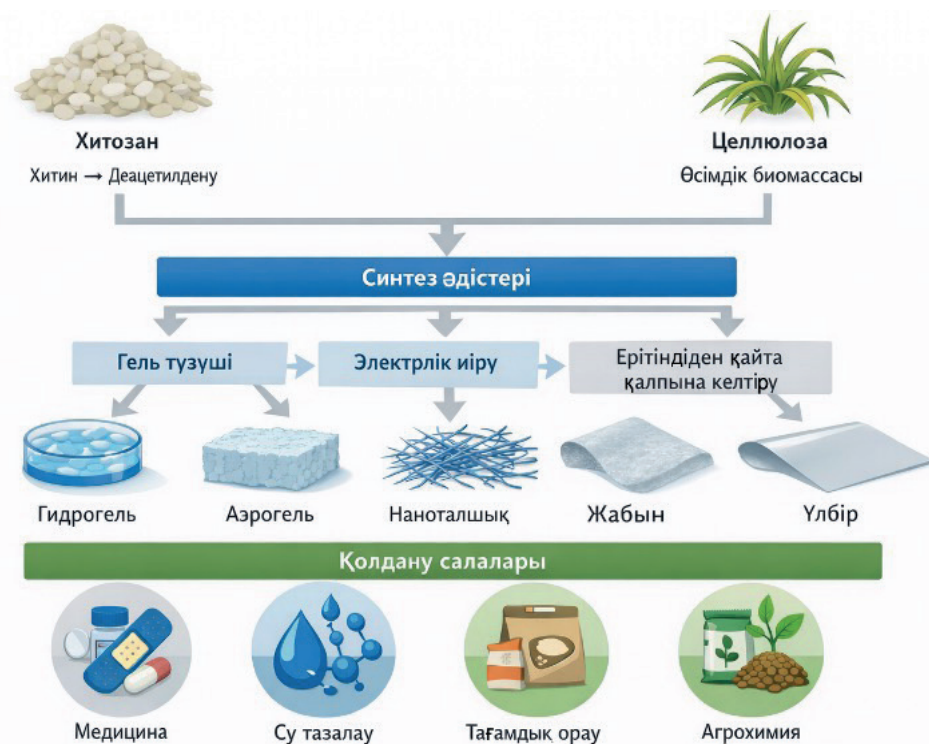
Сонымен қатар, хитозан-целлюлоза композиттері химиялық және физикалық модификацияға бейім, бұл олардың қасиеттерін мақсатты түрде өзгертуге жол ашады. Функционал топтарды енгізу, наноқұрылымды компоненттермен үйлестіру және кросслинкинг әдістерін қолдану арқылы сорбциялық сыйымдылығы (сорбенттің бірлік массасына шаққанда сіңірілетін зат мөлшері, мг/г) жоғары, биосәйкесті және ұзақ мерзімді тұрақты материалдар алуға болады. Осы артықшылықтар хитозан мен целлюлозаны экологиялық, биомедициналық және агрохимиялық қолданбалар үшін перспективалы композиттер жасаудың негізі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Хитозан-целлюлоза композиттерін синтездеу және модификациялау әдістері. Хитозан-целлюлоза негізіндегі композиттердің қасиеттері оларды синтездеу әдістеріне, фазалардың өзара әрекеттесу сипатына және модификациялау тәсілдеріне тікелей тәуелді. Соңғы жылдары бұл композиттерді алудың әртүрлі физикалық және химиялық әдістері дамып, материалдың морфологиясын, кеуектілігін және функционалдық белсенділігін басқаруға мүмкіндік берді.

1-суретте хитозан мен целлюлозаны бастапқы шикізат ретінде пайдаланып, композиттерді синтездеудің негізгі әдістері (гель түзуші, электрлік иіру, ерітіндіден қайта қалпына келтіру), алынатын құрылымдық формалар (гидрогель, аэрогель, наноталшық, жабын, үлбір) және олардың медицина, су тазалау, тағамдық орау және агрохимия салаларындағы қолдану бағыттары көрсетілген. Схема синтез әдістері мен материал құрылымы арасындағы байланысты көрнекі түрде бейнелейді.

Гель түзу әдісі. Гель түзу хитозан-целлюлоза композиттерін алудың ең кең таралған тәсілдерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс негізінен полимер тізбектері арасында физикалық немесе химиялық айқаспалы байланыстар түзу арқылы үшөлшемді торлы құрылым қалыптастыруға негізделген. Гель түзу процесінде хитозанның амин топтары мен целлюлозаның гидроксил немесе карбоксил топтары арасында сутектік және иондық өзара әрекеттесулер жүзеге асады, нәтижесінде механикалық тұрақты және кеуекті гидрогельдер түзіледі. Соңғы зерттеулерде гель түзу әдісі ауыр металл иондарын адсорбциялауға арналған функционалды гидрогельдер алу үшін тиімді екені көрсетілді. Мұндай жүйелерде гелдің ісіну қабілеті мен кеуек өлшемі иондардың диффузиясын және байланысу кинетикасын анықтайды (Arpuhamillage, 2019). Сонымен қатар, жұмсақ синтез шарттары биомедициналық қолданбалар үшін маңызды артықшылық болып табылады.

Электрлік иіру (electrospinning) әдісі. Электрлік иіру әдісі хитозан-целлюлоза композиттерінен наноталшықты құрылымдар алу үшін кеңінен қолданылады. Бұл тәсіл жоғары кернеу өрісінің әсерімен полимер ерітіндісінен диаметрі нанометрлік деңгейдегі үздіксіз талшықтар түзуге мүмкіндік береді. Электрлік иіру нәтижесінде алынған композиттік маттар жоғары меншікті бет ауданына, кеуекті құрылымға және бағытталған морфологияға ие болады.



Сурет 1 – Хитозан-целлюлоза композиттерін алу әдістері, құрылымдық формалары және қолдану салаларының схемалық көрінісі.

Хитозан-целлюлоза негізіндегі электрлік иірілген материалдар жара таңғыштар, сүзгілік мембраналар және антимикробтық жабындар ретінде перспективалы деп танылған. Зерттеулер көрсеткендей, целлюлозалық компонент талшықтардың механикалық беріктігін арттырса, хитозан олардың биологиялық белсенділігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, электрлік иірн параметрлерін өзгерту арқылы талшық диаметрін және кеуектілік деңгейін басқаруға болады.

Ерітіндіден тұндыру және регенерациялау әдістері. Ерітіндіден тұндыру немесе регенерациялау әдісі целлюлозаны арнайы еріткіштерде ерітіп, кейін антиеріткіш қосу арқылы қатты фазаға айналдыруға негізделген. Бұл процесс барысында хитозан целлюлозалық матрицаға біркелкі таралып, композиттік құрылым қалыптасады. Қайта қалпына келтірілген хитозан-целлюлоза композиттері көбінесе пленкалар, мембраналар және аэрогельдер алу үшін қолданылады. Бұл әдістің артықшылығы – фазалардың микродеңгейде жақсы араласуы және материал құрылымының салыстырмалы біртектілігі. Соңғы еңбектерде регенерацияланған композиттердің бояғыштар мен органикалық ластағыштарды тиімді сорбциялайтыны көрсетілген, бұл оларды су тазалау технологиялары үшін перспективалы етеді (He et al., 2023).

Беттік және көлемдік модификациялау тәсілдері. Хитозан-целлюлоза композиттерінің функционалдық қасиеттерін арттыру үшін беттік және көлемдік модификациялау кеңінен қолданылады. Ковалентті модификациялау кезінде полимер тізбектеріне функционал топтар енгізіледі немесе айқаспалы байланыстар түзіледі, бұл материалдың механикалық тұрақтылығын және химиялық төзімділігін арттырады. Ал ковалентсіз модификациялау сутектік байланыстар мен электростатикалық өзара әрекеттесулерге негізделеді. Мұндай тәсілдер материалдың икемділігін сақтай отырып, сорбциялық немесе биологиялық белсенділікті күшейтуге мүмкіндік береді. Әсіресе қабат-қабат (layer-by-layer) жинақтау әдісі арқылы алынған хитозан-целлюлоза жабындары құрылымдық біртектілігімен және басқарылатын қалыңдығымен ерекшеленеді.

Құрылым түзілуіндегі ковалентті және ковалентсіз әрекеттесулердің рөлі. Хитозан-целлюлоза композиттерінің қасиеттері ковалентті және ковалентсіз байланыстардың арақатынасына тікелей тәуелді. Ковалентті айқаспалы байланыстар материалдың ұзақ мерзімді тұрақтылығын және механикалық беріктігін қамтамасыз етсе, ковалентсіз әрекеттесулер (сутектік байланыстар, иондық тартылыс) құрылымның икемділігін және функционалдық жауап беру қабілетін арттырады. Соңғы зерттеулерде осы екі типтегі өзара әрекеттесулерді үйлестіре қолдану арқылы «реттелетін» композиттер жасау мүмкіндігі көрсетілді. Мұндай материалдар қолдану ортасына бейімделіп, сорбциялық, тосқауылдық немесе биологиялық қасиеттерін тиімді көрсете алады (Nicolle et al., 2021).

Хитозан-целлюлоза композиттерінің физика-химиялық және функционалдық қасиеттері. Хитозан-целлюлоза композиттерінің практикалық құндылығы олардың физика-химиялық және функционалдық қасиеттерінің үйлесімділігімен анықталады. Бұл қасиеттер материалдың морфологиясына, кеуектілік деңгейіне, полимер тізбектері арасындағы өзара әрекеттесулерге және қолданылған синтез

немесе модификация әдістеріне тікелей тәуелді. Соңғы жылдары жүргізілген эксперименттік зерттеулер композиттердің қасиеттерін мақсатты түрде реттеу мүмкіндігін көрсетті, бұл оларды әртүрлі қолданбалар үшін бейімдеуге жол ашады.

Хитозан-целлюлоза композиттерінің механикалық сипаттамалары олардың фазалық құрамына, целлюлозалық компоненттің мөлшері мен дисперсия дәрежесіне, сондай-ақ құрылымдық ұйымдасу ерекшеліктеріне тікелей байланысты. Әсіресе наноөлшемді целлюлозаны енгізу композиттердің механикалық беріктігін едәуір арттыратыны белгілі. Мұндай жүйелерде жүктеменің тиімді берілуі қамтамасыз етіліп, полимерлік матрица мен арматуралаушы фаза арасында берік өзара әрекеттесу қалыптасады. Наноцеллюлоза негізіндегі биополимер композиттерінде созылу беріктігінің 40-60 МПа-ға дейін жоғарылайтыны, ал серпімділік модулінің 3-6 ГПа диапазонына жететіні эксперименттік түрде көрсетілген. Бұл көрсеткіштер таза хитозан матрицасымен салыстырғанда бірнеше есе жоғары және композиттердің конструкциялық тұрғыдан қолданылу мүмкіндігін айқындайды. Ылғалды ортада механикалық тұрақтылықты сақтау биомедициналық және экологиялық қолданбалар үшін аса маңызды мәселе болып табылады. Су ортасында көптеген биополимерлердің беріктігі төмендейтіні белгілі, алайда целлюлозалық фазамен күшейтілген хитозан-целлюлоза гидрогельдері суға қаныққан күйде де өз құрылымдық тұтастығын сақтайды. Мұндай гидрогельдердің қысуға төзімділігі 150-250 кПа деңгейінде сақталатыны көрсетілген, бұл оларды инъекциялық жүйелерде және жараны жабуға арналған материалдар ретінде пайдалануға мүмкіндік береді (Li et al., 2021). Осылайша, композиттердің механикалық қасиеттері олардың нақты қолдану ортасына бейімделе алатынын дәлелдейді.

Хитозан-целлюлоза композиттерінің маңызды функционалдық сипаттамаларының бірі – олардың сорбциялық белсенділігі. Хитозан құрамындағы амин топтары ауыр металл иондарымен кешен түзуге қабілетті болса, целлюлоза кеуекті құрылым түзіп, массалмасу процесін жеңілдетеді. Эксперименттік деректер биополимер сорбенттері үшін ауыр металл иондарына қатысты адсорбциялық сыйымдылықтың 50-200 мг/г диапазонында өзгеретінін көрсетеді. Сонымен қатар, химиялық немесе физикалық функционалдандыру арқылы бұл көрсеткіштерді айтарлықтай арттыруға болатыны анықталған. Функционал топтарға бай хитозан-целлюлоза композиттері Pb(II) сияқты токсикалық иондарға қатысты жоғары селективтілік пен тез сорбция кинетикасын көрсетеді, бұл оларды су тазалау технологиялары үшін перспективалы материалдар қатарына жатқызады (Fu and Wang, 2011).

Тосқауылдық қасиеттер хитозан-целлюлоза композиттерінің тағамдық және фармацевтикалық орау материалдары ретіндегі қолданылуын айқындайды. Композиттердің тығыздығы мен қабатталған құрылымы газдардың және су буының өтуін шектеп, өнімнің сақтау мерзімін арттыруға мүмкіндік береді. Наноцеллюлозаның енгізілуі құрылымның тығыздалуына ықпал етіп, тосқауылдық тиімділікті күшейтеді (Fu and Wang, 2011).

Биосәйкестік хитозан-целлюлоза композиттерінің басты артықшылықтарының бірі болып табылады. *In vitro* зерттеулер бұл материалдардың жасушалық уыттылығы төмен екенін және тірі тіндермен жақсы үйлесетінін көрсетеді. Сонымен қатар, хитозан мен целлюлоза табиғи полисахаридтер болғандықтан, олардың ферментативтік ортада біртіндеп биодеградациялануы экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Мұндай материалдар бірнеше апта ішінде ыдырап, қоршаған ортаға зиянды өнімдер бөлмейді, бұл оларды қысқа және орта мерзімді қолданбалар үшін қолайлы етеді (Aranaz et al., 2009).

Жалпы алғанда, эксперименттік деректер хитозан-целлюлоза композиттерінде құрылым мен қасиет арасындағы тығыз байланысты айқын көрсетеді. Наноөлшемді целлюлозалық фазаның біркелкі таралуы механикалық беріктікті арттырып, ал кеуекті морфология сорбциялық тиімділіктің жоғарылауына ықпал етеді. Сондықтан композит құрылымын мақсатты түрде басқару олардың функционалдық қасиеттерін реттеудің негізгі құралы болып табылады.

2-суретте хитозан-целлюлоза композиттерінің құрылымдық параметрлері (кеуектілік, функционал топтар, айқаспалы байланыстар), олардың негізгі физика-химиялық және функционалдық қасиеттеріне (механикалық беріктік, сорбциялық сыйымдылық, биосәйкестік) әсері және практикалық қолдану салаларымен (сорбенттер, су тазалау жүйелері, тағамдық орау, агрохимиялық материалдар) байланысы көрсетілген. Схема материал құрылымын мақсатты басқару арқылы қасиеттерді реттеу мүмкіндігін айқындайды.



Сурет 2 – Хитозан–целлюлоза композиттеріндегі құрылым-қасиет-қолдану арасындағы өзара байланыс.

Жүргізілген эксперименттік зерттеулерді талдау хитозан-целлюлоза композиттерінің физика-химиялық және функционалдық қасиеттері олардың құрылымдық параметрлерімен тығыз байланысты екенін көрсетті. Наноцеллюлоза сияқты құрылымдық күшейткіштерді енгізу композиттердің механикалық беріктігін айтарлықтай арттырады, ал кеуекті гидро- және аэрогельдік құрылымдар жоғары сорбциялық сыйымдылық пен жылдам массалмасуды қамтамасыз етеді. Тосқауылдық қасиеттердің жақсаруы композиттерді орау материалдары ретінде қолдануға мүмкіндік берсе, биосәйкестік пен бақыланатын биодеградация оларды биомедициналық және экологиялық қолданбалар үшін перспективалы етеді. Осылайша, құрылымды мақсатты түрде басқару хитозан-целлюлоза композиттерінің қасиеттерін нақты қолдану салаларына бейімдеудің негізгі факторы болып табылады.

Хитозан-целлюлоза композиттерін қолдану және даму перспективалары.

Хитозан-целлюлоза композиттері табиғи полисахаридтердің құрылымдық және функционалдық артықшылықтарын біріктіруі нәтижесінде әртүрлі қолдану салаларында практикалық маңызға ие материалдар ретінде қарастырылуда. Соңғы жылдары жүргізілген эксперименттік зерттеулер бұл композиттердің нақты ортада тиімді жұмыс істей алатынын және өнеркәсіптік қолдануға жақындағанын көрсетеді.

1-кестеде хитозан-целлюлоза негізіндегі композиттерді синтездеудің негізгі әдістері, нәтижесінде түзілетін құрылымдық формалар, олардың басым физика-химиялық және функционалдық қасиеттері, сондай-ақ негізгі қолдану салалары жинақталған.

Кесте 1 – Хитозан-целлюлоза композиттерін алу әдістері, құрылымдық формалары, негізгі қасиеттері және қолдану салалары

Синтез әдісі	Құрылымдық форма	Негізгі қасиеттер	Қолдану саласы
Гель түзуші	Гидрогель	Жоғары ісіну, биосәйкестік	Жара таңғыштар, дәрі жеткізу
Гель түзуші	Аэрогель	Жоғары кеуектілік, сорбция	Су тазалау
Электрлік иіру	Наноталшық	Үлкен бет ауданы, антимикробтық	Медицина, фильтрация
Ерітіндіден қайта қалпына келтіру	Жабын	Тосқауылдық қасиет	Тағамдық орау
Ерітіндіден қайта қалпына келтіру	Үлбір	Газ және бу өткізгіштігін төмендету	Орау материалдары
Микрокапсуляция	Микробөлшек	Баяу босап шығу	Агрохимия

Кестеде әртүрлі синтез тәсілдерінің хитозан-целлюлоза композиттерінің құрылымдық, механикалық және функционалдық қасиеттеріне әсері жинақталған түрде ұсынылған. Жүргізілген салыстырмалы талдау материал қасиеттерінің синтез әдісіне тәуелді екенін көрсетіп, алынған композиттерді медицинада, су тазалау жүйелерінде және тағамдық орау технологияларында мақсатты түрде қолдану бағыттарын негіздеуге мүмкіндік береді.

Медицинада қолдану: жара таңғыштар және дәрі жеткізу жүйелері. Медицина саласында хитозан-целлюлоза композиттері ең алдымен жара таңғыш материалдар және дәрілік заттарды жеткізу жүйелері ретінде зерттелуде. Эксперименттік деректер көрсеткендей, мұндай композиттер жоғары ылғал ұстау қабілетіне, газ алмасуға қолайлы кеуекті құрылымға және айқын антимикробтық белсенділікке ие. Хитозан мен целлюлозаның синергетикалық әсері жара аймағында қолайлы микросреда қалыптастырып, тіндердің регенерациясын жеделдетуге мүмкіндік береді. Эксперименттік зерттеулерде хитозан-наноцеллюлоза негізіндегі гидрогель таңғыштардың *Staphylococcus aureus* және *Escherichia coli* өсуін 95%-дан астам тежейтіні, ал жасушалық уыттылық сынақтарында фибробласттардың тіршілік қабілетінің 90%-дан жоғары деңгейде сақталатыны көрсетілген. Сонымен қатар, хитозан-целлюлоза микробөлшектеріне инкапсуляцияланған антибиотиктердің баяу және бақыланатын босап шығуы 72 сағатқа дейін созылатыны анықталған, бұл инфекцияланған жараларды емдеуде маңызды артықшылық болып табылады (Deng et al., 2025).

Су тазалауда қолдану: ауыр металл иондары мен органикалық ластағыштар. Су тазалау технологияларында хитозан-целлюлоза композиттері ауыр металл иондары мен органикалық ластағыштарды жоюға арналған тиімді сорбенттер ретінде кеңінен зерттелуде. Эксперименттік зерттеулер бұл материалдардың жоғары адсорбциялық сыйымдылығын, жылдам сорбция кинетикасын және бірнеше рет регенерациялауға жарамдылығын көрсетеді. Хитозан-целлюлоза аэрогельдерінің Pb(II) иондарына қатысты максималды адсорбциялық сыйымдылығы 300 мг/г-дан жоғары мәндерге жететіні, ал бірнеше регенерация циклінен кейін де сорбциялық тиімділіктің 80-85% деңгейінде сақталатыны анықталған. Сонымен қатар, органикалық бояғыштарды жоюға арналған зерттеулерде мұндай кеуекті композиттердің метилен көгін қысқа уақыт ішінде 90%-дан астам мөлшерде адсорбциялайтыны көрсетілген (Li et al., 2019). Бұл нәтижелер композиттердің нақты ағынды суларды тазалау жүйелерінде қолдануға жарамды екенін дәлелдейді.

Орау және тағам технологияларында қолдану. Тағамдық және фармацевтикалық орау саласында хитозан-целлюлоза композиттері биоыдырайтын және антимикробтық материалдар ретінде ерекше қызығушылық тудырады. Мұндай материалдар тағам өнімдерінің микробиологиялық бұзылуын баяулатып, сақтау мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Эксперименттік деректер хитозан-целлюлоза композит үлбірлерінің оттегі өткізгіштігі дәстүрлі биополимерлік материалдармен салыстырғанда 40-60% төмен екенін, ал микробиологиялық тұрақтылығының айтарлықтай жоғарылайтынын көрсетеді. Бұл көрсеткіштер композиттердің тағам өнімдерін сақтау үшін тиімді тосқауылдық және экологиялық қауіпсіз орау материалдары екенін айқындайды (Costa et al., 2021).

Агрехимия және экология саласындағы қолдану. Агрехимияда хитозан-целлюлоза композиттері баяу босап шығатын тыңайтқыштар мен пестицидтерді тасымалдаушы матрица ретінде зерттелуде. Мұндай жүйелер қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтып, белсенді заттардың тиімділігін арттыруға

мүмкіндік береді. Ma et. al. хитозан-целлюлоза негізіндегі микрокапсулаларда инкапсуляцияланған тыңайтқыштардың топырақта босап шығу уақыты 10-14 күнге дейін созылатынын және өсімдікке сіңу тиімділігінің артатынын көрсетті (Ma et al., 2023). Экологиялық тұрғыдан алғанда, бұл композиттер топырақта толық биодеградацияланып, улы қалдықтар түзбейтіні анықталған, бұл оларды тұрақты ауыл шаруашылығы үшін перспективалы материалдарға жатқызады.

Даму перспективалары. Хитозан-целлюлоза композиттерін дамытудың болашақ бағыттары көпқырлы сипатқа ие. Бірінші кезекте, оларды металл немесе көміртекті нанобөлшектермен біріктіру арқылы көпфункционалы материалдар алу мүмкіндігі зерттелуде. Мұндай гибридті жүйелер бір мезгілде сорбциялық, антимикробтық және каталитикалық қасиеттер көрсете алады. Сонымен қатар, соңғы еңбектерде хитозан-целлюлоза композиттерінің энергетика саласындағы әлеуеті, атап айтқанда биополимерлік электролиттер мен ионалмасу мембраналары ретінде қолданылуы қарастырылуда. Тәжірибелік *fuel cell* сынақтарында мұндай мембраналардың протон өткізгіштігі 10^{-3} - 10^{-2} См/см деңгейіне жететіні көрсетілген (Abouricha et al., 2024).

Перспективалы бағыттардың қатарына «жасыл» технологияларды дамыту, яғни еріткішсіз немесе төмен энергиялы синтез әдістерін енгізу, жаңартылатын шикізатты пайдалану және материалдардың толық өмірлік циклін бағалау жатады. Бұл бағыттар хитозан-целлюлоза композиттерінің өнеркәсіптік деңгейде кеңінен қолданылуына негіз қалайды.

Қорытынды. Бұл шолу жұмысында хитозан мен целлюлоза негізіндегі композиттердің қазіргі даму деңгейі, оларды синтездеудің негізгі тәсілдері, физика-химиялық және функционалдық қасиеттері, сондай-ақ практикалық қолдану мүмкіндіктері жүйелі түрде талданды. Әдеби деректерді салыстырмалы талдау аталған биополимерлерді біріктіру синергетикалық әсер беретінін және нәтижесінде қасиеттері басқарылатын, экологиялық тұрғыдан қауіпсіз материалдар алуға болатынын көрсетті.

Зерттеулер хитозан-целлюлоза композиттерінің құрылымы мен қасиеттері арасындағы тығыз байланысты айқын дәлелдейді. Целлюлозаның құрылымдық рөлі материалдың механикалық тұрақтылығын қамтамасыз етсе, хитозан функционалдық белсенділікті, соның ішінде сорбциялық және биологиялық әсерді күшейтеді. Синтез және модификация әдістерін мақсатты таңдау арқылы композиттердің кеуектілігін, беттік қасиеттерін, биосәйкестігін және тосқауылдық сипаттамаларын нақты қолдану салаларына бейімдеуге мүмкіндік бар екені анықталды.

Эксперименттік деректер хитозан-целлюлоза композиттерінің медицинада (жара таңғыштар, дәрі жеткізу жүйелері), су тазалау технологияларында (ауыр металл иондары мен органикалық ластағыштарға арналған сорбенттер), тағамдық орауда (биоыдырайтын және антимикробтық пленкалар), сондай-ақ агрохимия мен экологияда (баяу босап шығатын препараттар, топыраққа қауіпсіз материалдар) жоғары тиімділік көрсететінін растайды. Бұл композиттерді қолдану қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтып, тұрақты даму қағидаттарын жүзеге

асыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, шолу барысында бірқатар шешімін толық таппаған мәселелер де айқындалды. Олардың қатарына композиттердің ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету, ылғал ортада механикалық қасиеттердің сақталуы, өндірістік масштабтау мүмкіндіктері және қасиеттерді стандарттау қажеттілігі жатады. Бұл аспектілер хитозан-целлюлоза композиттерін кең ауқымды өнеркәсіптік қолдануға енгізу жолындағы негізгі ғылыми-техникалық кедергілер болып табылады.

Болашақ зерттеулер хитозан-целлюлоза композиттерін нанобөлшектермен және басқа биоматериалдармен біріктіруге, көпфункционалы жүйелерді әзірлеуге, сондай-ақ энергетика саласындағы қолдану мүмкіндіктерін кеңейтуге бағытталуы тиіс. Сонымен қатар, «жасыл» химия қағидағтарына негізделген синтез тәсілдерін дамыту және материалдардың толық өмірлік циклін бағалау осы бағыттағы зерттеулердің практикалық маңызын арттыра түседі. Жалпы алғанда, хитозан-целлюлоза композиттері заманауи материалтанудың маңызды әрі перспективалы бағыты болып табылады және олардың әрі қарай дамуы ғылыми және қолданбалы тұрғыдан өзекті болып қала береді. Сонымен қатар, хитозан-целлюлоза композиттерін практикалық қолдануға енгізу барысында олардың ұзақ мерзімді тұрақтылығы, әсіресе ылғалды және биологиялық белсенді ортадағы құрылымдық өзгерістері маңызды мәселе болып қала береді. Өндірістік масштабта қолдану кезінде шикізаттың біркелкілігі, технологиялық процестердің қайталанбалылығы және экономикалық тиімділігі қосымша зерттеулерді талап етеді. Осы факторларды ескеру композиттердің өнеркәсіптік деңгейде қолданылуын қамтамасыз етудің негізгі шарттарының бірі болып табылады.

References

- Abouricha S., Aziam H., Noukrati H., Sel O., Saadoun I., Lahcini M., & Youcef H.B. (2024). Biopolymers-based proton exchange membranes for fuel cells. *ChemElectroChem*, 11(9), e202300648. <https://doi.org/10.1002/celc.202300648> (in English)
- Ahmed A. (2026). Challenges of polymer bionanocomposites in industry. In *Polymer Nano-Biocomposites*. –507-516 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23922-9.00007-2> (in English)
- Appuhamillage G.A., Berry D.R., Benjamin C.E., Luzuriaga M.A., Reagan J.C., Gassensmith J.J., & Smaldone R.A. (2019). Biopolymer-based 3D printable hydrogels for metal adsorption. *Polymer International*, 68(5). – P. 964-971. <https://doi.org/10.1002/pi.5787> (in English)
- Aranaz I., Mengibar M., Harris R., Paños I., Miralles B., Acosta N. & Heras Á. (2009). Functional characterization of chitin and chitosan. *Current Chemical Biology*, 3(2). – P. 203-230. <https://doi.org/10.2174/187231309788166415> (in English)
- Costa S.M., Ferreira D.P., Teixeira P., Ballesteros L.F., Teixeira J.A., & Figueiro R. (2021). Active natural-based films for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177. – P. 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.105> (in English)
- Dash M., Chiellini F., Ottenbrite R.M., & Chiellini E. (2011). Chitosan – A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 36(8). – P. 981-1014. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001> (in English)
- Darmenbayeva A., Zhussipnazarova G., Rajasekharan R., Massalimova B., Zharlykapova R., Nurybayeva A., Mukazhanova Z., Aubakirova G., Beganova B., Manapova S., et al. (2025). Applications and advantages of cellulose-chitosan biocomposites. *Polymers*, 17. – P. 23. <https://doi.org/10.3390/polym17010023> (in English)
- Deng N., Li Q., & Wang W. (2025). Nanocellulose-chitosan hydrogels with enhanced properties. *Langmuir*, 41(21). – P. 13604-13610. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5c01538> (in English)



Fu F., & Wang Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3). – P. 407-418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011> (in English)

Habibi Y. (2014). Key advances in the chemical modification of nanocelluloses. *Chemical Society Reviews*, 43(5). – P. 1519-1542. <https://doi.org/10.1039/C3CS60204D> (in English)

He S., Li J., Cao X., Xie F., Yang H., Wang C. & Li W. (2023). Regenerated cellulose/chitosan composite aerogel with highly efficient adsorption for anionic dyes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 244. – P. 125067. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125067> (in English)

Isogai A. (2021). Emerging nanocellulose technologies: Recent developments. *Advanced Materials*, 33(28). – P. 2000630. <https://doi.org/10.1002/adma.202000630> (in English)

Klemm D., Kramer F., Moritz S., Lindström T., Ankerfors M., Gray D., & Dorris A. (2023). Nanocelluloses: A new family of nature-based materials. *Angewandte Chemie International Edition*. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273> (in English)

Li T., Chen C., Brozena A.H., Zhu J.Y., Xu L., Driemeier C. & Hu L. (2021). Developing fibrillated cellulose as a sustainable technological material. *Nature*, 590(7844). – P. 47-56. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03167-7> (in English)

Li Y., Guo C., Shi R., Zhang H., Gong L., & Dai L. (2019). Chitosan/nanofibrillated cellulose aerogels for Pb(II) removal. *Carbohydrate Polymers*, 223. – P. 115048. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115048> (in English)

Ma J., Faqir Y., Chai Y., Wu S., Luo T., Liao S. & Hadir W. (2023). Controlled-release nitrogen fertilizers based on chitosan microspheres. *Scientia Horticulturae*, 308. – P. 111542. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111542> (in English)

Nicolle L., Journot C.M.A., & Gerber-Lemaire S. (2021). Chitosan functionalization: Covalent and non-covalent interactions. *Polymers*, 13(23). – P. 4118. <https://doi.org/10.3390/polym13234118> (in English)

Niu C., Liu L., Farouk A., Chen C., & Ban Z. (2023). Layer-by-layer assembly based on chitosan and CMC coatings for citrus fruit preservation. *Horticulturae*, 9(6). – P. 715. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060715> (in English)

Rinaudo M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7). – P. 603-632. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001> (in English)

Strnad S., & Fras Zemljčić L. (2023). Cellulose-chitosan functional biocomposites. *Polymers*, 15(2). – P. 425. <https://doi.org/10.3390/polym15020425> (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.