

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

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3  
2025**

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

2025 • 3



**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 NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Editorial Board:**

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

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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

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

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

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

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

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

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

**BOSHKAEV Kuantai 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>

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

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

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

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

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

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

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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

**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:**

**ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакция ұжымы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нүрәліұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

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

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

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

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

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

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

**БОШКАЕВ Қуанғай Ағвазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

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

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

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

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

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

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

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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

**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** Күзлік.

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 НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакционная коллегия:**

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

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

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

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

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

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

**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>

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

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

**БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич**, 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>

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

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

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

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

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

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

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

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

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

**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>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

CONTENTS

PHYSICS

**M.B. Albatyrova**

Energy evolution equation in a nonlinear spin system: derivation and numerical modeling.....11

**E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova, A.K. Shongalova, O.A. Shilova**

Effect of the precursor concentration on the morphology and photosensitivity of the resulting ZnO thin films.....21

**A. Istlyaup, L. Myasnikova, A. Lushchik**

Computer simulation of the electrical properties of a carbon sheet with alkali metal iodide crystals.....33

**A. Kenesbayeva, Ye.I. Kuldeev, E.O. Shalenov, T.B. Nurpeissova**

Determination of the gravitational constant.....49

**Sh.T. Nurmakhmetova, N.L. Vaidman, S.A. Khokhlov, A.T. Agishev, A.A. Khokhlov**

The emission-line dusty object IRAS 07080+0605: evidence for binarity.....60

**E.Otunchi, A.A. Migunova, A.Umirzakov, N.Tokmoldin**

Effect of the composition of the film-forming system on the properties of SnO<sub>2</sub> films obtained by spray pyrolysis.....71

**U.A. Ualikhanova, A.N. Abdipatta, O.V. Razina, A.M. Syzdykova, G.S. Altayeva**

Bulk viscosity in f(T) gravity and its impact on cosmological evolution.....83

**A.Zh. Umirbayeva, L. Aktay, L.N. Kondratyeva, I.M. Izmailova, A. Shomshekova**

Methodology for the reduction of archival slit spectra of planetary nebulae.....99

**N. Eghtesadi, S.S. Uzakbaeva, Z.K. Aimaganbetova, N.N. Zhanturina, A.Z. Bekeshev**

Prediction of the kinetic properties of low-density polyethylene.....115

**D. Yurin, D. Kuvatova, A. Glushenko, Ch. Omarov, M. Makukov**

Analysis of the limits of direct n-body simulation using Nvidia RTX4090 GPU cards.....131

## CHEMISTRY

<b>A.S. Beisenova, A.A. Zhanybekova, M.M. Duysebaeva, G.E. Berganaeva</b> Study of the chemical composition of <i>Centaurea diffusa</i> Lam. growing in the territory of Almaty region.....	146
<b>N.N. Berikbol, Zh.S. Kassymova, L.K. Orazzhanova, A.N. Klivenko, N.N. Nurgaliyev</b> Synthesis of interpolyelectrolyte complexes from fluorescently labeled biopolymers.....	161
<b>O.A.Yessimova, S.Sh. Kumargaliyeva, B.K. Musabekov, A.K. Konysbek</b> Colloidal - chemical properties of alhagi and tansy ( <i>tanacetum</i> ) hydrolates.....	182
<b>R.N. Zhanaliyeva, B. Imangaliyeva, B. Torsykbaeva, R. Kozykeyeva</b> Catalytic hydrogenation of carbonyl-containing compounds: mechanism, catalysts and application.....	193
<b>M.A. Zhumash, K. Tilegen, Y.A. Boleubayev, S.S. Itkulova</b> Dry reforming of methane over the high active Co-Fe-Ir-containing alumina supported catalyst.....	207
<b>M. Ibrayeva, N. Sagdollina, Zh. Mukazhanova, Sh. Sanyazova, M.Ozturk</b> Optimization of flavonoid extraction conditions from a plant of the genus <i>Symphotrichum novi-belgii</i> .....	218
<b>M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova</b> Supramolecular polymeric receptors for binding alkali metal ions.....	228
<b>Y.A. Mussatay, M.I. Tulepov</b> Carbon filters from rice husk for air purification in confined spaces.....	238
<b>A.Zh. Mutushev, A.B. Seisenova, O.S. Kapizov, A.M. Nuraly, D.K. Mukhanov</b> Integrated process for the synthesis of carbon-silicon nanocomposites from biowaste and metallurgical sludge.....	258
<b>A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, D.A. Zhumadullaev, M. Zhurinov</b> Influence of metal surface mechanical preparation on the properties of phosphate coatings.....	274

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**

Сызықтық емес спиндік жүйедегі энергия эволюциясының теңдеуі:  
шығарылуы және сандық модельдеу.....11

**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**

Прекурсор концентрациясының алынған жұқа ZnO жабындарының  
құрылымы мен фотосезімталдығына әсері.....21

**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**

Төмен тығыздықтағы полиэтиленнің кинетикалық қасиеттеріне  
болжау жасау.....33

**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**

Сілтілі металл иодидтерінің кристалдарымен көміртек қабатының  
электрлік қасиеттерін компьютерлік модельдеу.....49

**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Гравитациялық тұрақтыны анықтау.....60

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**

IRAS 07080+0605 эмиссиялық объекті: екіжұлдыздық жүйенің дәлелі.....71

**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**

Жабын түзуші жүйе құрамының спрей-пиролиз әдісімен алынған  
SnO<sub>2</sub> жабындарының қасиетіне әсері.....83

**У.А. Уалиханова, А.Н. Әбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**

f(T) гравитациясындағы көлемдік тұтқырлық және оның  
космологиялық эволюцияға әсері.....99

**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**

Планетарлық тұмандықтардың архивтік саңылаулы спектрлерін  
өңдеу әдістемесі.....115

**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**

N-бөлшекті тікелей үлгілеудің шектерін Nvidia RTX 4090  
GPU-карталарын пайдаланып талдау.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, Г.Е. Берганаева, М.А. Дюсебаева**  
Алматы облысының аумағында өсетін шашыңқы гүлкекіре *Centaurea diffusa Lam.* өсімдігінің химиялық құрамын зерттеу.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Флуоресцентті таңбаланған биополимерлерден интерполиэлектрлиттік комплексті синтездеу.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Құмарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Жантақ және түймешетен гидрولاتтарының коллоидтық-химиялық қасиеттері.....182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсыкбаева, Р. Козыкеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Құрамында карбонил бар қосылыстардың каталитикалық гидрогенизациясы: механизмі, катализаторлары және қолданылуы.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Итқұлова**  
Алюминий тотығына қондырылған жоғары белсенді Co-Fe-Ir құрайтын катализатордағы метанның құрғақ риформингі.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Санъязова, М. Ozturk**  
*Symphyotrichum novi-belgii* тұқымдас өсімдіктен флавоноидтарды алу жағдайларын оңтайландыру.....218
- М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Әбілқасова**  
Сілтілік металл иондарын байланыстыруға арналған супрамолекулалық полимерлік рецепторлар.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Шағын кеңістіктегі ауаны тазартуға арналған күріш қауызы негізіндегі көміртек құрамды сүзгілер.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, Ө.С. Капизов, Ә.М. Нұралы, Д.К. Муханов**  
Биоқалдықтар мен металлургиялық шламнан көміртек-кремний нанокөміртектерін синтездеудің интеграцияланған әдісі.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Металдар бетін механикалық дайындаудың фосфатты жабындар қасиеттеріне әсері.....274

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**Уравнение эволюции энергии в нелинейной спиновой системе:  
вывод и численное моделирование.....11**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**Влияние концентрации прекурсора на морфологию и фоточувствительность  
получаемых тонких пленок ZnO.....21**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**Компьютерное моделирование электрических свойств углеродного листа  
с кристаллами йодидов щелочных металлов.....33**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Определение гравитационной постоянной.....49

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**Эмиссионный пылевой объект IRAS 07080+0605: доказательство двойной  
природы.....60**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**Влияние состава пленкообразующей системы на свойства пленок  
SnO<sub>2</sub>, полученных методом спрей-пиролиза.....71**У.А. Уалиханова, А.Н. Эбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**Объемная вязкость в f(T) гравитации и ее влияние  
на космологическую эволюцию.....83**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**

Методика обработки архивных щелевых спектров планетарных туманностей...99

**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**

Прогнозирование кинетических свойств полиэтилена низкой плотности.....115

**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**Анализ пределов прямого моделирования n-тел с использованием  
GPU-карт Nvidia RTX4090.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, М.А. Дюсебаева, Г.Е. Берганаева**  
Исследование химического состава василек раскидистый *Centaurea diffusa* Lam., растущий на территории Алматинской области.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Синтез интерполиэлектrolитных комплексов на основе флуоресцентно-меченых биополимеров.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Кумарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Коллоидно-химические свойства гидратов верблюжьей колючки и пижмы...182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсықбаева, Р. Қозықеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Каталитическое гидрирование карбонилсодержащих соединений: механизм, катализаторы и применение.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Иткулова**  
Сухой риформинг метана на высокоактивном Co-Fe-Ir содержащем нанесенном на оксид алюминия катализаторе.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Саньязова, М. Ozturk**  
Оптимизация условий экстракции флавоноидов из растения рода *Symphotrichum novi-belgii*.....218
- М.К. Курманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова**  
Супрамолекулярные полимерные рецепторы для связывания ионов щелочных металлов.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Углеродные фильтры из рисовой шелухи для очистки воздуха в стесненных помещениях.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, О.С. Капизов, А.М. Нуралы, Д.К. Муханов**  
Интегрированная технология получения углеродно-кремниевых нанокомпозитов из биоотходов и металлургических шламов.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Влияние механической подготовки поверхности металла на свойства фосфатных покрытий.....274

© N.N. Berikbol<sup>1</sup>, Zh.S. Kassymova<sup>1\*</sup>, L.K. Orazzhanova<sup>1</sup>, A.N. Klivenko<sup>1</sup>,  
N.N. Nurgaliyev<sup>1,2</sup>, 2025.

<sup>1</sup>Shakarim University, Semey, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany.

E-mail: [kasymova-z@mail.ru](mailto:kasymova-z@mail.ru)

## SYNTHESIS OF INTERPOLYELECTROLYTE COMPLEXES FROM FLUORESCENTLY LABELED BIOPOLYMERS

**Berikbol Nazira Nurlykyzy** — Master of Natural Sciences, Researcher «Shakarim Lab», Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: [nazira428@bk.ru](mailto:nazira428@bk.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4472-082X>;

**Kassymova Zhanar Sailaubekovna** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Ecology, Research School of Physical and Chemical Sciences, Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: [kasymova-z@mail.ru](mailto:kasymova-z@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4971-6638>;

**Orazzhanova Lazzyat Kametaevna** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Ecology, Research School of Physical and Chemical Sciences, Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: [lazzyat.orazzhanova.70@mail.ru](mailto:lazzyat.orazzhanova.70@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7881-0589>;

**Klivenko Alexey Nikolaevich** — PhD, Associate professor, Director «Shakarim Lab», Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: [alexeyklivenko@mail.ru](mailto:alexeyklivenko@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8971-686>;

**Nurgaliyev Nurzhan Nurlybekuly** — PhD, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany; Associate Professor of the Department of Chemistry and Ecology, Research School of Physical and Chemical Sciences, Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: [n.nurgaliyev@shakarim.kz](mailto:n.nurgaliyev@shakarim.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Abstract.** Relevance. Fluorescently labeled polymers and interpolyelectrolyte complex (IPEC) were obtained from commercial samples of biopolymers - sodium alginate and chitosan. Methods. We used for synthesis fluorescein isothiocyanate and fluoresceinamine. Formation of fluorescently labeled polymers and IPEC was confirmed by FTIR spectrometry. We studied rheological properties of polymers for evaluate the interaction of polymers with the soil. Soil penetration and water resistance tests were conducted to assess erosion control potential. The formation of a coating on the soil surface was confirmed by SEM micrographs. Main conclusions. Fluorescent chitosan was obtained via thiourea bond between amino groups ( $-NH_2$ ) and isothiocyanate groups ( $=N=C=S$ ). In sodium alginate, carboxyl groups ( $-COO^-$ ) reacted with

amino groups of fluoresceinamine to form covalent amide bonds (–CO–NH–). The optimal IPEC composition was established at [2:8] molar ratio. Rheological analysis showed that chitosan, sodium alginate, and IPECs ([1:9], [2:8], [3:7], [4:6]) exhibited pseudoplastic, non-Newtonian behavior. Fluorescently labeled polymers penetrated to 21–23 mm and were gradually leached by water. IPEC formed a stable, 2 mm-thick surface coating resistant to leaching. The mechanical strength of polymer–soil layer was 19 times greater than that of untreated soil. Application of IPEC to forest soil increased resistance to water erosion by 72% and to wind erosion by 77%. Practical value. IPEC [Chitosan:sodium alginate] = [2:8] is proposed as an anti-erosion agent to improve structure of forest soils.

**Keywords:** Interpolyelectrolyte complex, biopolymers, chitosan, sodium alginate, fluorescently labeled chitosan, fluorescently labeled sodium alginate, *soil water erosion*

**Funding:** *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19579443).*

© Н.Н. Берікбол<sup>1</sup>, Ж.С. Касымова<sup>1\*</sup>, Л.К. Оразжанова<sup>1</sup>, А.Н. Кливенко<sup>1</sup>,  
Н.Н. Нурғалиев<sup>1,2</sup>, 2025.

<sup>1</sup>«Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан;

<sup>2</sup>Гумбольдт атындағы университет, Берлин, Германия.

E-mail: kasymova-z@mail.ru

## ФЛУОРЕСЦЕНТТІ ТАҢБАЛАНҒАН БИОПОЛИМЕРЛЕРДЕН ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТТІК КОМПЛЕКСТІ СИНТЕЗДЕУ

**Берікбол Нәзира Нұрлықызы** — жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Шәкәрім университетінің «Shakarim Lab» ғылыми қызметкері, Семей, Қазақстан,  
E-mail: nazira428@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4472-082X>;

**Касымова Жанар Сайлаубековна** — биология ғылымдарының кандидаты, Шәкәрім университетінің Физика және химия ғылымдары зерттеу мектебінің Химия және экология кафедрасының доценті, Семей, Қазақстан,

E-mail: kasymova-z@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4971-6638>;

**Оразжанова Ляззат Каметаевна** — химия ғылымдарының кандидаты, Шәкәрім университетінің Физика және химия ғылымдары зерттеу мектебінің Химия және экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Семей, Қазақстан,

Email: lazzyat.orazghanova.70@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7881-0589>;

**Кливенко Алексей Николаевич** — PhD, қауымдастырылған профессор, Шәкәрім университетінің «Shakarim Lab» директоры, Семей, Қазақстан,

E-mail: alexeyklivenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8971-686;

**Нурғалиев Нұржан Нұрлыбекұлы** — PhD, Гумбольдт атындағы университет, Берлин, Германия; Физика және химия ғылымдары зерттеу мектебінің Химия және экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Семей, Қазақстан,

E-mail: n.nurgaliyev@shakarim.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Аннотация.** Өзектілігі. Зерттеу жұмысында табиғи полимерлер натрий альгинаты мен хитозан коммерциялық үлгілерінен флуоресцентті таңбаланған полимерлер және интерполиэлектrolитті комплекс (ИПЭК) алынды. Әдістер.



Синтез барысында флуоресцеин изотиоцианаты және флуоресцеинамин бояғыштары қолданылды. Флуоресцентті таңбаланған полимерлердің және ИПЭК-тің түзілгендігі ИҚ-спектрометрия әдісі арқылы расталды. Полимерлердің топырақ қабатымен әрекеттесуін бағалау үшін реологиялық қасиеттері зерттелді. Флуоресцентті таңбаланған полимерлер мен ИПЭК-ті топырақ эрозиясына қарсы қолдану үшін олардың топыраққа еңу тереңдігімен сумен шайылу деңгейі зерттелді. Топырақтың беткі қабатында жабын түзілгендігі СЭМ микросуреттерімен дәлелденді. Негізгі тұжырымдар. Хитозанның амин тобы ( $-NH_2$ ) мен флуоресцеин изотиоцианатының изотиоцианат тобы ( $=N=C=S$ ) арасында тиомочевина-байланысы арқылы флуоресцентті таңбаланған хитозан түзілді. Ал, натрий альгинатының карбоксил топтары ( $-COO^-$ ) флуоресцеинаминнің амин топтарымен әрекеттесіп ковалентті амидтік байланыс ( $-CO-NH-$ ) пайда болды. Флуоресцентті таңбаланған полимерлерден синтезделген ИПЭК-тің оңтайлы құрамы [2:8] мольдік қатынасты құрады. Хитозан, натрий альгинаты үлгілері және олардың негізінде синтезделіп алынған [1:9], [2:8], [3:7], [4:6] ИПЭК-тер псевдопластикалық ағысқа сәйкес ньютондық емес сұйықтықтарға жататындығы анықталды. Флуоресцентті таңбаланған полимерлердің топыраққа еңу тереңдігі 21-23 мм құрады, және судың әсерінен топыраққа тереңірек өтіп, біртіндеп шайылатындығы байқалды. Керсінше флуоресцентті таңбаланған ИПЭК 2 мм қалыңдығымен топырақ жабының қалыптастырып сумен шайылмайтындығы байқалды. Топырақ полимерлі жабының механикалық беріктігі бақылау нұсқасынан 19 есе жоғары болды. ИПЭК-пен өңдеу кезінде орман топырағының су эрозиясына төзімділігі 72%-ға, ал жел эрозиясына төзімділігі тиісінше 77%-ға жоғарылады. Практикалық құндылық. [Хитозан:натрий альгинаты] = [2:8] мольдік қатынасындағы ИПЭК-ті орманды топырақтың құрылымын жақсартуға арналған эрозияға қарсы құрылымдаушы ретінде ұсынуға болады.

**Түйін сөздер:** Интерполиэлектролиттік комплекс, биополимерлер, хитозан, натрий альгинаты, флуоресцентті таңбаланған хитозан, флуоресцентті таңбаланған натрий альгинаты, топырақтың су эрозиясы

**Қаржыландыру:** Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен АР19579443 «Полиэлектролиттік кешендер негізінде қарағайды жедел өсіру технологиясын әзірлеу» грант жобасы аясында орындалды.

© Н.Н. Берікбол<sup>1</sup>, Ж.С. Касымова<sup>1\*</sup>, Л.К. Оразжанова<sup>1</sup>, А.Н. Кливенко<sup>1</sup>,  
Н.Н. Нурғалиев<sup>1,2</sup>, 2025.

<sup>1</sup>НАО «Шәкәрім университет», Семей, Казахстан;

<sup>2</sup>Университет имени Гумбольдта, Берлин, Германия.

E-mail: kasymova-z@mail.ru

## СИНТЕЗ ИНТЕРПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНО-МЕЧЕННЫХ БИОПОЛИМЕРОВ

**Берікбол Назира Нурлықызы** — магистр естественных наук, научный сотрудник «Shakarim Lab», Шәкәрім университет, Семей, Қазақстан,

E-mail: nazira428@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4472-082X>;

**Касымова Жанар Сайлаубековна** — кандидат биологических наук, доцент кафедры Химии и экологии исследовательской школы физических и химических наук, Шәкәрім университет, Семей, Қазақстан,

E-mail: kasymova-z@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4971-6638>;

**Оразжанова Лазыят Каметаевна** — кандидат химических наук, ассоциированный профессор кафедры Химии и экологии исследовательской школы физических и химических наук, Шәкәрім университет, Семей, Қазақстан,

E-mail: lazzyat.ozazhanova.70@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7881-0589>;

**Кливенко Алексей Николаевич** — PhD, ассоциированный профессор, Директор «Shakarim Lab», Шәкәрім университет, Семей, Қазақстан,

E-mail: alexeyklivenko@mail.ru ORCID ID, ORCID ID:0000-0002-8971-686;

**Нурғалиев Нуржан Нурлыбекович** — PhD, Университет имени Гумбольдта, Берлин, Германия; ассоциированный профессор химии и экологии Исследовательской школы изических и химических наук, Шәкәрім университет, Семей, Қазақстан,

E-mail: n.nurgaliyev@shakarim.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Аннотация.** Актуальность. В работе из коммерческих образцов биополимеров - натрия альгината и хитозана получены флуоресцентно-меченые полимеры и интерполиэлектrolитный комплекс (ИПЭК). Методы. Для синтеза использовали красители флуоресцеин-изотиоцианат и флуоресцеинамин. Образование флуоресцентно-меченых полимеров и ИПЭК было подтверждено ИК-спектрометрией. Для оценки взаимодействия полимеров с почвенным слоем исследованы их реологические свойства. Для применения флуоресцентно-меченых полимеров и ИПЭК против почвенной эрозии изучены глубина проникновения в почву и степень вымывания водой. Образование покрытия на поверхности почвы было подтверждено СЭМ микрофотографиями. Основные выводы. Флуоресцентно-меченый хитозан образовывался за счет тиомочевинной связи между аминогруппой ( $-NH_2$ ) хитозана и изотиоцианатной группой ( $=N=C=S$ ) флуоресцеин-изотиоцианата. В альгинате натрия карбоксильные группы ( $-COO^-$ ) взаимодействовали с аминогруппами флуоресцеинамина с образованием ковалентной амидной связи ( $-CO-NH-$ ). Оптимальный состав ИПЭК из флуоресцентно-меченых полимеров составил мольное соотношение [2:8]. Образцы хитозана, альгината натрия и синтезированные на их основе в мольных соотношениях [1:9], [2:8], [3:7], [4:6] ИПЭК, продемонстрировали псевдопластическое течение неньютоновских жидкостей. Глубина проникновения



флуоресцентно-меченых полимеров в почву составила 21–23 мм и под действием воды они вымывались. А флуоресцентно-меченый ИПЭК формировал почвенное покрытие толщиной 2 мм, не вымываемое водой. Механическая прочность полимерно-почвенного покрытия оказалась в 19 раз выше по сравнению с контролем. При обработке лесной почвы ИПЭК устойчивость к водной эрозии повысилась на 72%, а к ветровой эрозии — на 77%. Практическая значимость ИПЭК [Хитозан:альгинат натрия] = [2:8] предлагается в качестве противоэрозионного средства для улучшения структуры лесных почв.

**Ключевые слова:** интерполиэлектrolитный комплекс, биополимеры, хитозан, альгинат натрия, флуоресцентно-меченый хитозан, флуоресцентно-меченый альгинат натрия, водная эрозия почвы, ветровая эрозия почвы

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант AP19579443 «Разработка технологии ускоренного выращивания сосны на основе полиэлектrolитных комплексов».

**Кіріспе.** Қазіргі таңда кең ауқымды ғылыми және практикалық қолдану мүмкіндіктеріне ие жаңа функционалды полимерлі материалдарды әзірлеу заманауи ғылымның басым бағыттарының бірі болып табылады. 1970-жылдардың басында (Kabanov et al., 1980) зерттеушілер жаңа ғылыми бағыттың – интерполимерлік комплекстердің (ИПК) негізін қалады. ИПК кез-келген полимерлерден сутектік байланыстар, гидрофобтық және донорлық-акцепторлық әрекеттесулер, иондық өзара байланыстар арқылы түзіледі. Екі полимер ерітіндісін араластырғаннан кейін электростатикалық байланыс нәтижесінде қарама-қарсы зарядталған полииондардың ассоциациясы жаңа полимерлік матрица қалыптасады (Komoto et al., 2019).

Қазіргі кезде қарама-қарсы зарядталған жоғары молекулалы қосылыстардан интерполиэлектrolиттік комплекстерді (ИПЭК) топырақ эрозиясына қарсы топырақ құрылымдаушысы ретінде қолдану оңтайлы әдістердің бірі. Топырақты эрозиядан қорғау мақсатында полимерлерді қолдану ХХ ғасырдың 50-жылдарынан басталды. Алғашқы кезеңде негізгі жұмыстар топырақтың органикалық заттарына туыстас құрылымы бар табиғи полимерлер – полисахаридтердің қатысуымен жүргізілді. Полисахаридтер мен олардың туындылары — хитозан, натрийкарбоксиметилцеллюлоза, альгинат - табиғи полимерлерге жатады, олар қоршаған ортада кең таралған және қайта қалпына келтірілетіндіктен медицинада, фармацевтикада, тамақ және ауылшаруашылығы өнеркәсібінде кеңінен қолданылады (Mussabayeva et al., 2022; Izumrudov et al., 2019). Табиғи полимерлердің ішінде хитозан мен натрий альгинатынан ИПЭК алу бірқатар артықшылықтарға ие. Атап айтқанда бұл биополимерлер ерекше химиялық құрлымымен сипатталады.

Хитозан хитиннен сілтілік ортада N-деацетилденуі нәтижесінде алынады. Оның құрылымы деацетилденген [ $\beta(1\rightarrow4)$ -D-глюкозамин] және ацетилденген

(N-ацетил-D-глюкозамин) буындарынан тұрады (da Rocha et al., 2024). Егерде хитозанның деацетилдену дәрежесі 70-85% болса ол қышқылдарда (сірке, лимон, құмырсқа) ерігіштік қасиетке ие болады. Молекулалық массасы 50,000 до 1,000,000 г/моль аралығында кездеседі. Бұл биополимерде реакцияға қабілетті үш түрлі функционалдық топтар қамтылған:  $-NH_2$  аминді топ,  $-NH-CO-CH_3$  ацетамидті топ, сондай-ақ C-2, C-3 және C-6 орындарында орналасқан біріншілік және екіншілік  $-OH$  гидроксил топтары. Хитозанның катионды полимер болуын  $-NH_2$  аминді топ қамтамасыз етеді.

Натрий альгинаты - теңіз қоңыр балдырларының жасуша қабырғасынан алынатын табиғи полисахарид (Costa et al., 2015). Ол (1→4)-байланысқан  $\beta$ -D-маннурон қышқылы мен  $\alpha$ -L-гулулон қышқылының қалдықтарынан тұратын сызықтық бинарлы сополимер болып табылады. Өз құрылымында  $-COONa$  карбоксилдік топтардың болуына байланысты натрий альгинаты аниондық полиэлектролит болып есептеледі. Натрий альгинатының молекулалық массасы 32 000-нан 400 000 г/моль-ге дейін және ол суда ериді. Табиғи шығу тегі бойынша биоыдырайтын, уытсыз, экологиялық зиянсыз және биоүйлесімді қасиеттерге ие полимер болып табылады (Kassymova et al., 2019).

Хитозан және натрий альгинаты топырақтың су (Adamczuk et al., 2021) және жел эрозиясын төмендетуде тиімді құрал ретінде қолданылады.

Авторлардың (Román-Doval et al., 2023) зерттеу жұмыстарында хитозанды топыраққа еңгізген кезде, топырақ бөлшектерінің арасындағы когезияны және құрылымдық беріктігін арттыру, механикалық қасиеттерін жақсарту, сондай-ақ азот пен кальций сияқты қоректік элементтердің мөлшерін жоғарлатқаны көрсетілген. Сонымен қатар, хитозан негізінде жасалған композиттік және сополимерлік жүйелер топырақтың су ұстау қабілетін жоғарылатып, оның тұрақтылығын арттырады. Хитозанның тағы бір артықшылығы – топырақтағы әртүрлі ластаушы заттарды тиімді жоюға қабілетті (Adamczuk et al., 2021). Аэродинамикалық құбырда жүргізілген сынақтар хитозанның топырақтың жел эрозиясын тиімді түрде болдырмайтынын көрсетті (Berikbol et al., 2024). Су тамшысымен жүргізілген су эрозиясын зерттейтін сынақтар хитозанның төмен концентрациялы ерітінділерін жабын ретінде және су эрозиясынан қорғау үшін басқа материалдармен бірге қолдануға болатынын дәлелдеді. Сондай-ақ ластанған жерасты суларын тазартуға арналған сүзгілерде хитозанмен қапталған құмның практикалық маңызы бар екендігі және құмды топырақтардың гидравликалық өткізгіштігін төмендету әсерін тудыруы мүмкін екендігі хабарланады (Nader Hataf et al., 2018).

Өсімдіктер үшін де хитозанның маңызы зор. Ол вирустарға, бактериялар мен саңырауқұлақтарға қарсы қасиеттерге ие тұқымдардың қолайсыз орта факторларына төзімділігін арттырады, өңгіштігін жақсартады және тыңайтқыштардың су сіңіру қабілетін жоғарылатады

Натрий альгинаты да, хитозан сияқты, деградацияға ұшыраған жерлерді қалпына келтірудің оңтайлы құралы ретінде қарастырылады. Оның құмды топырақ бетінде жұқа қабат түзе алатыны және топырақтың төзімділік қасиеттерін арттыру

арқылы рекультивация үдерісін жеделдетеді. Сонымен қатар, авторлардың зерттеуінде (Fatehi et al., 2023) натрий альгинаты ірі түйіршікті де, ұсақ түйіршікті де топырақтың қасиеттерін айтарлықтай жақсартып, олардың жылжу беріктігін және жел эрозиясына төзімділігін жоғарлататыны көрсетілген.

Бірақ, зерттеу жұмысында (Chang et al., 2016) жеке полимерлер ұзақ мерзімді қорғаныс әсерімен қамтамасыз етпейтіндігі және жаңбыр суымен топырақтан аз уақыт ішінде жойылатындығы, кейбірі тіпті жеңіл жауын-шашын кезінде де тұрақтандырушы әсердің жоғалуына әкелетіндігі сипатталған. Себебі, гидрофобты байланыстырғыштар топырақта біркелкі тарала алмайды, топырақ бетіне тез шоғырланып, сынғыш жабын түзеді. Көптеген зерттеу деректерінде (Izumrudov et al., 2019) топырақ эрозиясынан қорғаудың оңтайлы жолы полимерлі байланыстырғыштың құрамында гидрофильді және гидрофобты да бөліктері болған жағдайда ғана қол жеткізілетіні сипатталған. Мұның нәтижесінде, біріншіден, байланыстырғыштың тиімділігі айтарлықтай артып, оның шығыны азаяды, екіншіден, байланыстырғыш топырақта біркелкі таралады және судағы ерігіштігі төмендейді. Сол себепті полимерлер комплексін қолдану өзекті мәселе. Төменгі №1-кестеде натрий альгинаты, хитозан биополимерлері негізінде синтезделген ИПЭК-тің топыраққа әсері көрсетілген. Полимерлердің диссоциацияланған функционалды топтарының электростатикалық өзара әрекеттесуі нәтижесінде, яғни натрий альгинатының анионды карбоксил тобы мен хитозанның катионды амин тобы арасында, және бұрыннан қалыптасқан альгинат–хитозан бөлшектерінің агрегаттары арасында жүретін ішкі және тізбеаралық сутектік байланыстар есебінен ИПЭК түзіледі.

№1-кесте – Биополимерлердің топыраққа әсері

№	Полимер	Әсері	Әдебиет
1	Ксантан сағызы және натрий альгинаты. Хитозан мен натрий альгинаты.	Топырақ құрылымдарының механикалық беріктігін арттырды.	(Temurayak et al., 2023) (Klivenko., 2020)
2	Натрий альгинаты мен кватирленген гидроксэтилцеллюлозды этоксилат	Полимерлермен топырақ бөлшектерінің арасында берік, суға төзімді композиттік жабындарды түзді.	(Novoskoltseva., 2022)
3	Натрий альгинаты мен натрий лигносульфонатынан жасалған гидрогельдер	Топырақтың максималды ылғалды ұстау қабілетін ұлғайтты (77,6 г/кг-ден 108,83 г/кг-ге дейін).	(Zhang et al., 2024)

Көптеген зерттеулерде (Izumrudov et al., 2019) және өзіміздің (Berikbol et al., 2024; Klivenko et al., 2020; Mussabayeva et al., 2022) алдыңғы зерттеу жұмыстарында биополимерлерден ИПЭК алу әдісі, ИПЭК-тің құрлымдық физико-химиялық қасиеттері, топырақ эрозиясына төзімділігі толық зерттелді. Бірақ полимерлермен ИПЭК-тің топыраққа ену тереңдігін және сумен шайылуға төзімділігін дәлелдеуге флуоресцентті таңбаланған материалдарды қолдану туралы деректер кертгірілмеген. Флуоресцентті таңбаланған полимерлерді алу үшін экологиялық зиянсыз, биоүйлесімді, фототұрақты, суда ерімейтін және арзан бояғыштарды

қолдану тиімді болып табылады. Аталған қасиеттерге флуоресцеин-изотиоцианат және флуоресцеинамин ие. Сондықтан осы зерттеу жұмысының мақсаты флуоресцентті таңбаланған хитозан мен натрий альгинаты биополимерлерінен ИПЭК алу, және оларды орманды құмды топырақтың құрлымдаушысы ретінде қолдану.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** *Зерттеу жұмысына коммерциялық үлгілер қолданылды:* биополимерлер хитозан (*Sigma-Aldrich*, АҚШ), натрий альгинаты (*Sigma-Aldrich*, АҚШ), 1-этил-3-(3-диметиламинопропил) карбодимид (EDC) (*Meryer*, Қытай), 5-флуоресцеинамин (*Meryer*, Қытай) және флуоресцеин изотиоцианаты изомер I (*Meryer*, Қытай). Тәжірибелерге арналған құмды топырақ үлгілері Қазақстан Республикасының Семей қаласы маңындағы қарағайлы орманнан алынды. Үлгілер 2022–2024 жылдар аралығындағы күзгі кезеңде топырақтың үстінгі қабатынан (0–25 см) алынды.

*Флуоресцентті таңбаланған хитозанды алу үшін екі ерітінді дайындаймыз:* 1) 0,2 г хитозанды 250 мл көлемді колбада 20 мл 0,1 М сірке қышқылында ерітілді; 2) 0,02 г флуоресцеин изотиоцианаты 20 мл ацетонда ерітілді, содан кейін дайындалған ерітіндінің 10 мл көлемі бірінші ерітіндіге қосылды. Алынған қоспаға қосымша 20 мл ацетон құйылды. Реакциялық колба күн сәулесінен қорғау мақсатында алюминий фольгамен оратылды және магнитті араластырғышқа 24 сағат бойы араластыру процесі жүргізілді (Hermanson et al., 2008).

*Флуоресцентті таңбаланған натрий альгинатын алу үшін екі ерітінді дайындаймыз:* 1) 40 мл дистилденген суда 0,792 г натрий альгинаты биополимерін ерітеміз, одан кейін 0,077 г EDC қосамыз; 2) 0,022 г флюоесцеинаминді 5мл ацетон ерітіндісінде ерітеміз, одан кейін оны бірінші ерітіндіге қосып араластырамыз, содан кейін колбадағы қоспаға 60 мл дистилденген су қосамыз, сыртын толық фольгамен орап, магниттік араластырғышта 2 сағатқа қалдырамыз (Hermanson et al., 2008).

Алынған флуоресцентті таңбаланған хитозан мен натрий альгинатын жеке-жеке 400 мл ацетон ерітіндісі бар бөлек химиялық стақандарға құямыз, сол кезде сары түсті тығыз гель тәрізді тұнба пайда болды, пайда болған тұнбаны супернаттантан механикалық жолмен бөліп алып, тұнбаны MWCO 8 kD диализдік мембранаға құямыз. Диализдік мембранадағы флуоресцентті таңбаланған полимерлерді 5 л дистилденген суда 5 тәулік бойы ұстаймыз, әр 8–10 сағат сайын дистилденген су ауыстырамыз. Алынған флуоресцентті таңбаланған полимер ерітінділері –40 °C температурада сублимациялық кептіргіштен Freeze dryer Scientz-12 (Қытай) өтеді, нәтижесінде сары түсті талшықты флуоресцентті таңбаланған полимерлер алынады.

*Табиғи полимерлерден және флуоресцентті таңбаланған полимерлерден ИПЭК синтездеу үшін* алдымен полимерлер ерітінділері дайындалды, ол үшін еңбектерінде (Berikbol et al., 2024; Klivenko et al., 2020) сипатталған әдістеме қолданылды. Алдымен жеке 0,01 моль/л концентрацияда биополимер ерітінділері дайындалды: 1,98 г натрий альгинаты биополимерін дистилденген суда, ал 1,61 г хитозан полимері 3% лимон қышқылында ерітілді. Полимер ерітінділері

магниттік араластырғышта 24 сағат бойы араластырылып, көлемі 1 литрге жеткізілді (Klivenko et al., 2020; Mussabayeva et al., 2022).

*ИПЭК полимерлер ерітінділерін тікелей араластыру әдісімен алынды:* полианион натрий альгинаты ерітіндісіне поликатион хитозан ерітіндісі қосылды. Қарама-қарсы зарядталған полиэлектролиттердің эквимольярлы ерітінділері [хитозан]:[натрий альгинаты] мольдік қатынастарда қосылды: [0:10], [1:9], [2:8], [3:7], [4:6], [5:5], [6:4], [7:3], [8:2], [9:1] және [10:0]. Эквимольярлы полимер ерітінділері шейкерде (Stegler NS, Қытай) 25°C температурасында 2 сағат бойы араластырылды. Содан кейін ИПЭК тұнбалары 3500 айн/мин жылдамдықта 15 минут бойы лабораториялық центрифугада (СМ-6М Elmi, Латвия) айналды. Супернатант алынып тасталғаннан кейін, ылғал тұнбалар аналитикалық таразыда (Mettler Toledo ML 204, Швейцария)  $\pm 0,0001$  г дәлдікпен өлшенді. Алынған тұнбаларды сублимациялық кептіргіште -41 °С температурасында 5 тәулік бойы тұрақты массаға дейін жеткізіліп кептірілді. Құрғақ үлгілердің массасы аналитикалық таразыда өлшенді. Жиналған деректер негізінде тұнба массасының ИПЭК мольдік құрамына тәуелділік графигі тұрғызылды.

*Полимерлер мен ИПЭК-ті ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу.* Флуоресцентті таңбаланған полимер туындыларының химиялық модификациясы мен комплекс түзілуін растау мақсатында құрғақ ИПЭК тұнбаларының, полимерлердің және флуоресцеинамин мен флуоресцеин изотиоцианатының ИҚ-спектрлері өлшенді. Өлшеулер АTR-қосымшасы бар ФТ-801 ИҚ-Фурье спектрометрінде (Ресей, Simex analytical equipment) 400–4000  $\text{см}^{-1}$  диапазон аралығында орындалды (Berikbol et al., 2024; Kassymova et al., 2019).

*Коммерциялық полимерлер үлгілері мен олардың негізінде алынған ИПЭК-тің реологиялық қасиеттері* ротациялық вискозиметрімен (НААКЕ VT550, Thermo Scientific, АҚШ) зерттелді (Berikbol et al., 2024).

*Топыраққа полимерлердің еңу тереңдігін және олардың сумен шайылуға төзімділігін анықтау* төмендегі тәжірибиеге сәйкес жүргізілді.

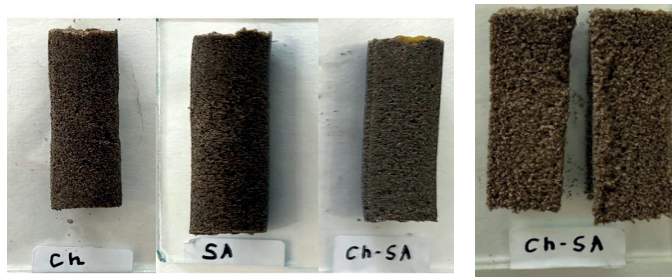
Тәжірибе үшін биіктігі 9 см және диаметрі 2 см мөлдір пластикалық түтікше пайдаланылды. Ыдысқа 4 см биіктікте топырақ салынды, түбі су өтетін тесігі бар парафинді қабықпен жабылды. Тәжірибе 3 нұсқада, әрқайсысы үш қайталыммен орындалды:

1. 1 мл  $10^{-2}$  моль/л флуоресцентті таңбаланған хитозанмен өңделген топырақ;
2. 1 мл  $10^{-2}$  моль/л флуоресцентті таңбаланған натрий альгинатымен өңделген топырақ;
3. 0,2 мл  $10^{-2}$  моль/л флуоресцентті-таңбаланған хитозанмен топырақтың беткі қабатын өңдеу, және оның үстіне 0,8 мл  $10^{-2}$  моль/л флуоресцентті таңбаланған натрий альгинатымен өңделген топырақ. Бұл [2:8] мольдік қатынасындағы [хитозан : натрий альгинаты] ИПЭК-ке сәйкес келді.

Осыдан кейін ылғал топырақ үлгілері 12 сағат бойы ауада бөлме температурасында (25 °С) кептірілді. Кептірілген топырақ үлгілері шыны пластинкаларға орналастырылып, ортасынан түзу екі бөлікке бөлінді (1-сурет). Флуоресцентті-таңбаланған полимерлермен және ИПЭК-пен өңделген топырақ

бөліктері ультракүлгін шаммен (Ресей, Дозор-УФ-365) қараңғыда сәулелендіріліп, топыраққа еңу терендігі анықталды.

*1-сурет. Флуоресцентті таңбаланған полимерлер және ИПЭК-пен өңделген топырақ бөліктері*



Полимерлер мен ИПЭК-тің топырақтан шайылуын зерттеу үшін флуоресцентті-таңбаланған полимерлермен және ИПЭК-пен өңделіп кептірілген топырақ үлгілері 50 мл дистилденген сумен өңделді. Сумен шайылғаннан кейін топырақ үлгілері қайтадан кептіріліп, екі бөлікке бөлінді, содан кейін үлгілерді қараңғыда ультракүлгін жарықпен сәулелендіріп, топырақта қалған полимер терендігі өлшенді.

Полимермен және ИПЭК-пен өңделген топырақтың беткі қабатының фотосуреттері төмен вакуумды талдамалық сканирлеуші электрондық микроскоптың (SEM JSM-6390LV, Jeol, Токио, Жапония) көмегімен түсірілді.

Зертханалық жағдайда полимерлермен және ИПЭК-пен өңделген топырақ агрегаттарының жел және су эрозиясына тұрақтылығын зерттеу.

Зертханалық жағдайда топырақтың жел және су эрозиясына төзімділігін анықтау үшін диаметрі 10 см Петри табақшалары 160 г (0,25–0,5 мм) құмды топырақпен толтырылды. Сынақ тәжірибелері үш нұсқада жүргізілді: 1) дистилденген сумен өңделген топырақ (бақылау нұсқасы), 2) хитозанмен өңделген топырақ нұсқасы (ауада кептірілген топырақ массасына шаққанда 0,02% полимер), 3) натрий альгинаты биополимерімен өңделген топырақ (ауада кептірілген топырақ массасына шаққанда 0,02% полимер), 3) ИПЭК-пен өңделген топырақ (ауада кептірілген топырақ массасына шаққанда 0,004% хитозан және 0,02% натрий альгинаты, мольдік қатынасы [хитозан]:[натрий альгинаты] = 2:8. Бұл мольдік қатынас біздің алдыңғы зерттеулерімізде ИПЭК-тің оңтайлы құрамы ретінде анықталған. ИПЭК-пен топырақты өңдеу екі ерітінділі әдіс арқылы жүргізілді (Berikbol et al., 2024; Izumrudov et al., 2019; Klivenko et al., 2020; Mussabayeva et al., 2022). Ол үшін, алдымен топырақ беті 4 мл  $10^{-2}$  моль/л хитозан ерітіндісімен біркелкі өңделді. Бірінші полимер толық сіңгеннен кейін, екінші полимер 16 мл  $10^{-2}$  моль/л натрий альгинатының ерітіндісі себілді. Су және жел эрозиясын модельдеу үшін зертханалық қондырғылар жасалды (Berikbol et al., 2024). Зертханалық жағдайда полимерлермен және ИПЭК-пен өңделген топырақтың су эрозиясына төзімділігін зерттеу үшін бес күн бойы кептірілген

Петри табақшаларындағы топырақ нұсқалары 15° бұрышпен орналастырылып, үстінен 500 мл ағынды дистилденген сумен өңделді. Топырақтың бетіне жауын-шашынның әсерін беру үшін BT100 перистальтикалық дозатор-сорғысы (ADS-Lab, Иркутск, Ресей) арқылы жүзеге асырылды. Ағынды су химиялық стакандарға жиналып, лайлылығы бойынша салыстырылды. Ары қарай Петри табақшаларында қалған топырақ үлгілері кептіру шкафында (58/350 LPF AB UMEGA, SnolTherm, Утена, Литва) 100 °C температурада тұрақты массаға дейін кептірілді. Кептірілген топырақ үлгілері қайтадан өлшеніп, су ағынымен жоғалған топырақ массасының мөлшері анықталды. Полимер және ИПЭК-пен өңделген топырақ қабатының жел эрозиясына төзімділігін зерттеу үшін Петри табақшаларындағы бес күн кептірілген топырақ-полимерлі қабықшаларын горизонтальді аэродинамикалық құбырға орналастырылып, 1 минут бойы 12 м/с жылдамдығымен жел үрлегіш құрылғымен (VKK-200, «Тепломаш», Санкт-Петербург, Ресей) әсер еткізілді. Петри табақшасында қалған топырақ қалдықтарының жел және су эрозиясына төзімділігі анықталды.

Топырақ үлгілерін TAXT анализаторы құрылғысына (Stable Micro Systems, Ұлыбритания) орналастырылып, 0,01 мм/сек жылдамдықпен қысу режимінде сыналды. Сынақ үшін құрылғы ұшында орналасқан диаметрі 5 мм шарлы ине P/5S зонды қолданылды. Топырақ-полимерлі қабықшалардың механикалық беріктігін зерттеу (Berikbol et al., 2024; Kassymova et al., 2019) авторлар сипаттаған әдістеме бойынша орындалды. Алынған деректер негізінде үлгінің деформация дәрежесінің қолданылған кернеуге тәуелділік графигі тұрғызылды. Серпімділік модулі алынған қисықтың бастапқы түзу сызықты учаскесіне жүргізілген жанаманың еңкею бұрышының тангенсі бойынша анықталды.

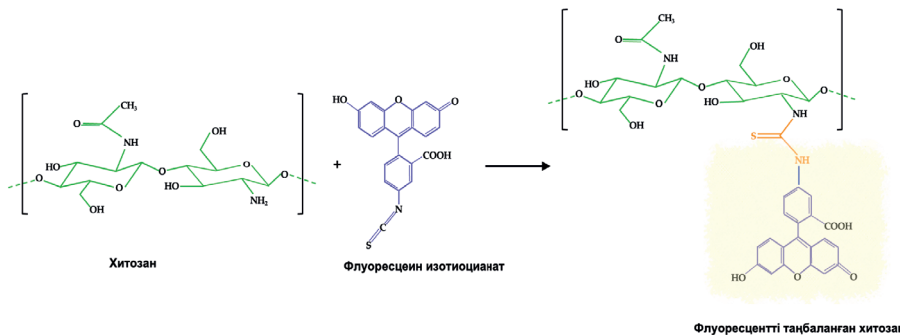
**Нәтижелер мен талқылаулар.** Алынған флуоресцентті таңбаланған хитозан мен натрий альгинаты полимер ерітінділері визуальді түрде сары түсті және қаранғыда ультра күлгін шамның әсерінен жарқырайтын қасиетке ие болды (2-сурет). Өнімнің шығымы флуоресцентті таңбаланған хитозан үшін 95%, ал флуоресцентті таңбаланған натрий альгинаты үшін 96% болды.

2-сурет. Флуоресцентті таңбаланған полимер ерітіндісі



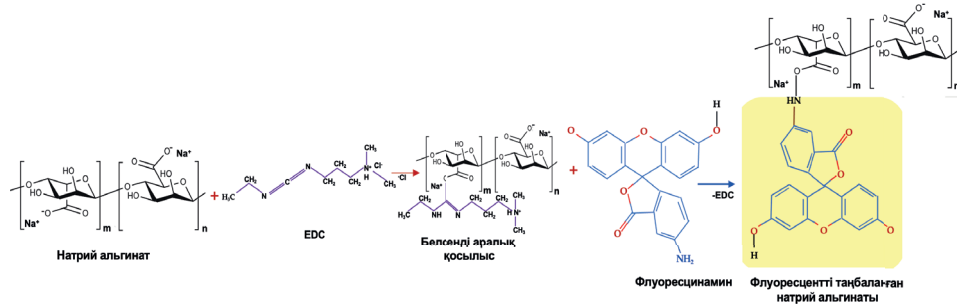
Хитозанның амин тобы ( $-\text{NH}_2$ ) мен флуоресцеин изотиоцианатының изотиоцианат тобы ( $=\text{N}=\text{C}=\text{S}$ ) арасында тиомочевина-байланысы арқылы флуоресцентті таңбаланған хитозанның түзілуі 3-суретте көрсетілді (Carrićo et al., 2020).

3-сурет. Флуоресцентті таңбаланған хитозанды алудың химиялық реакциясы.



Флуоресцентті таңбаланған натрий альгинатын синтездеу кезінде EDC натрий альгинатының карбоксил топтарын ( $-\text{COO}^-$ ) белсендетіп, оларды флуоресцеинаминнің амин топтарымен әрекеттесуге қабілеттілігін жоғарлатады, яғни флуоресцеинамин мен натрий альгинатының арасында **ковалентті амидтік байланыс** ( $-\text{CO}-\text{NH}-$ ) түзіледі (4-сурет).

4-сурет. Флуоресцентті таңбаланған натрий альгинаттың алудың химиялық реакциясы



Ары қарай флуоресцентті таңбаланған полимерлердің түзілгендігі ИҚ-спектрометрия әдісі арқылы расталды (5-сурет). Флуоресцеинаминнің ИҚ-спектрінде  $-\text{NH}_2$  және  $-\text{OH}$  топтарының  $3352\text{ см}^{-1}$  және  $3203\text{ см}^{-1}$  сіңіру жолақтары,  $2851\text{ см}^{-1}$  шамасында  $\text{C}-\text{H}$  топтарының шыңы және  $1742\text{ см}^{-1}$  аймағында карбонил тобының ( $\text{C}=\text{O}$ ) айқын шыңы байқалды. Сонымен қатар,  $1593\text{ см}^{-1}$ ,  $1373\text{ см}^{-1}$  және  $1109\text{ см}^{-1}$  толқын сандарында ароматтық сақина мен  $\text{C}-\text{N}$  байланыстарына сәйкес шыңдар тіркелді.

Натрий альгинатының спектрінде  $2920\text{ см}^{-1}$  аймағында  $\text{C}-\text{H}$  топтарының тербелістері, ал  $1601\text{ см}^{-1}$  және  $1450\text{ см}^{-1}$  аймақтарында  $\text{COO}^-$  топтарының

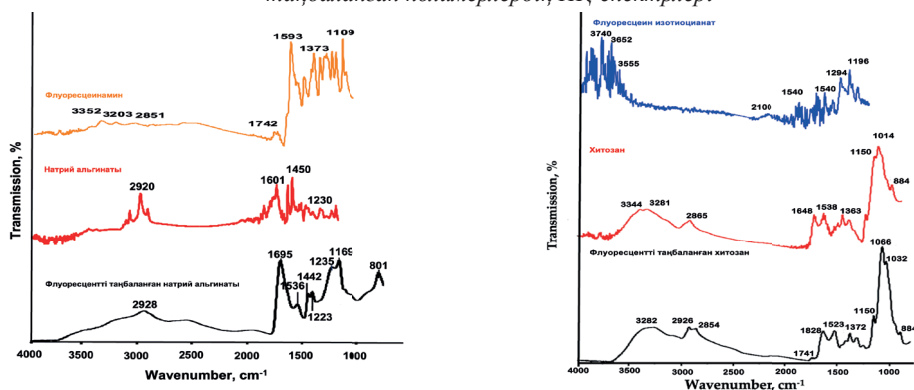
асимметриялық және симметриялық тербелістері анықталды, бұл оның карбоксилат тұзы күйінде екенін көрсетті.

Флуоресцентті таңбаланған натрий альгинаттың спектрінде келесі өзгерістер байқалады: флуоресцеинаминнің  $3352\text{ cm}^{-1}$ ,  $3203\text{ cm}^{-1}$   $\text{NH}_2$  тобының жолақтары жоғалады және натрий альгинатының  $1601\text{ cm}^{-1}$ ,  $1450\text{ cm}^{-1}$  шыңдары  $1695\text{ cm}^{-1}$ ,  $1442\text{ cm}^{-1}$  жолақтарына ауысады. Бұл натрий альгинатының  $-\text{COOH}$  топтарымен флуоресцеинаминнің  $-\text{NH}_2$  топтарының электростатикалық өзара әрекеттесуін дәлелдейді.

Флуоресцеин изотиоцианатының ИҚ-спектрінде  $2100\text{ cm}^{-1}$  аймағында изотиоцианат тобының ( $=\text{N}=\text{C}=\text{S}$ ) тербелістеріне сәйкес келетін жұтылу шыңы анықталды. Сонымен қатар,  $3555\text{ cm}^{-1}$  аймағында гидроксил тобының ( $-\text{OH}$ ),  $1725\text{ cm}^{-1}$  аймағында карбонил тобының ( $\text{C}=\text{O}$ ) және  $1540\text{ cm}^{-1}$  аймағында бензол сақинасының валенттік тербелістеріне тән шыңдар байқалды.

Ал, флуоресцентті таңбаланған хитозанның ИҚ-спектрінде бастапқы полимермен салыстырғанда  $-\text{NH}_2$  тобының жұтылу жолағы  $1648\text{ cm}^{-1}$ -ден  $1628\text{ cm}^{-1}$ -ге ығысқаны, сондай-ақ флуоресцеин изотиоцианатына тән изотиоцианат тобының шыңының жоғалғаны байқалады. Бұл флуоресцеин изотиоцианатының тобы мен хитозанның амин топтары арасында химиялық әрекеттесу жүргенінің тағы бір дәлелі (5-сурет).

5-сурет. Полимерлер, флуоресцеин изотиоцианаты, флуоресцеинамин және флуоресцентті таңбаланған полимерлердің ИҚ-спектрлері



Флуоресцентті таңбаланған ИПЭК-тің оңтайлы құрамын таңдау мақсатында әртүрлі эквимольарлы мольдік қатынастардағы флуоресцентті таңбаланған полимер ерітінділерін араластыру нәтижесінде лайлануы және тұнба түзілуі байқалды. Алынған тұнбалар сары түсті, жанасқанда тығыз және ылғал гелтәрізді, иіссіз, ультра күлгін шам әсерінен жарқырау қасиетіне ие болды. Сублимациялық кептіруден кейінгі ИПЭК медициналық мақтаға ұқсас құрылыммен сипатталды (6-сурет).

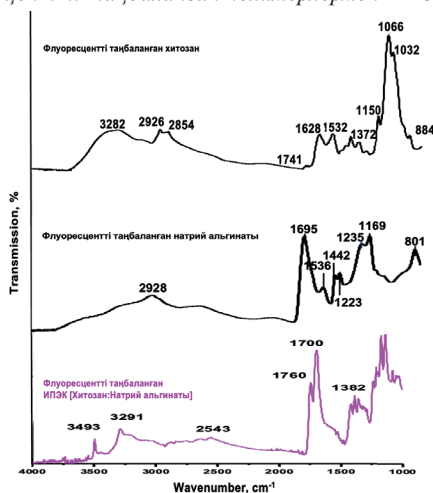
6-сурет. Синтезделген флуоресцентті таңбаланған ИПЭК



Гравиметриялық әдіспен әртүрлі мольдік қатынастардағы ИПЭК шығымы анықталды: ылғалды тұнба массасы центрифугада бөлуден кейін, ал құрғақ тұнба массасы сублимациялық кептіруден кейін өлшенді. Флуоресцентті таңбаланған ИПЭК-тің ең жоғары шығымы [2:8] мольдік қатынасында тіркелді: ылғалды өнім – 1,1914 г, ал құрғақ өнім – 0,7814 г. Осыған байланысты бұл оңтайлы қатынас алдыңғы зерттеу нәтижелеріне (Mussabayeva et al., 2022) сәйкес келеді және алынған ИПЭК зертханалық тәжірибеде топырақты өңдеуде қолданылды.

Флуоресцентті таңбаланған полимерлерден алынған ИПЭК-тің ИҚ-спектрі зерттелді (7-сурет).

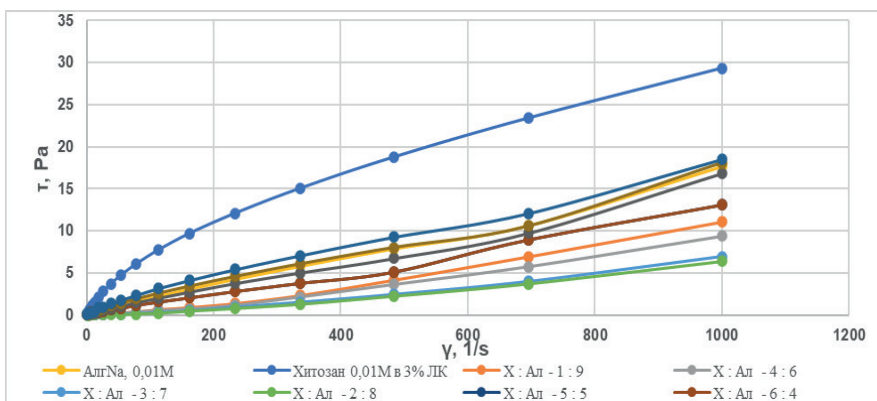
7-сурет. Флуоресцентті таңбаланған полимерлермен ИПЭК-тің ИҚ-спектрлері



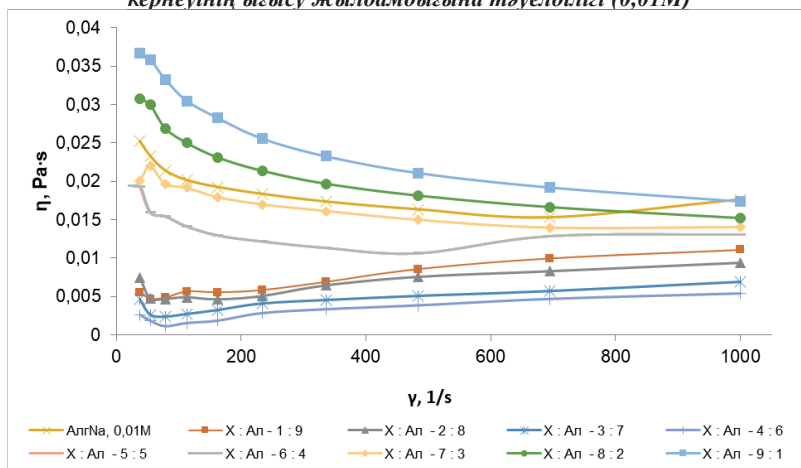
**Флуоресцентті таңбаланған ИПЭК-тің ИҚ-спектрінде** карбоксильді топтарының жолақтары және аминотоптарының тербелістері жойылғаны байқалады, яғни полимерлердің функциональды топтарының арасында электростатикалық өзара әрекеттесуінің дәлелі.

Хитозан, натрий альгинаты және ИПЭК-ті топырақ эрозиясына қарсы тиімді қолдану үшін олардың реологиялық қасиеттері зерттелді (8,9-суреттер).

8-сурет. Полимер ерітінділері мен ИПЭК-тің әртүрлі мольдік қатынастарындағы ығысу кернеуінің ығысу жылдамдығына тәуелділігі (0,01M)



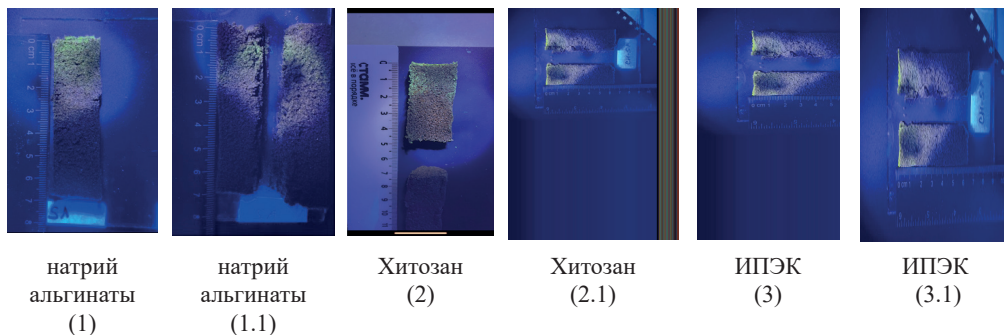
9-сурет. Полимер ерітінділері мен ИПЭК-тің әртүрлі мольдік қатынастарындағы ығысу кернеуінің ығысу жылдамдығына тәуелділігі (0,01M)



Хитозан, натрий альгинаты ерітінділерінің және осы полимерлердің [1:9], [2:8], [3:7], [4:6] ИПЭК-і ағыс қисықтары ньютондық емес сұйықтықтарға тән псевдопластикалық ағысқа сәйкес келеді. Басқа (Belalia et al., 2014) зерттеу жұмыстарында полимерлермен ИПЭК сұйықтықтары псевдопластикалық ағысқа сәйкес келетіндігі сипатталған, яғни кернеу жылдамдығымен ығысуы өскен сайын тұтқырлығы төмендейді. Псевдопластикалық ағыспен сипатталатын сұйықтықтар топырақтың беткі қабатына жақсырақ енеді, су, ауа өткізу режимін оңтайландырады, топырақтың кіші бөлшектерін байланыстырады, механикалық құрлымын жақсартып, эрозияға қарсы қабілетін ұлғайтады.

Полимерлердің және ИПЭК-тің топыраққа ену тереңдігін анықтау және шайылуға төзімділігін бағалау үшін флуоресцентті таңбаланған модификациялары пайдаланылды (10-сурет).

10-сурет. Флуоресцентті таңбаланған полимерлермен өңделген топырақ үлгілері (1; 2; 3) және сумен шайылғаннан кейінгі жағдайы (1.1; 2.1; 3.1)

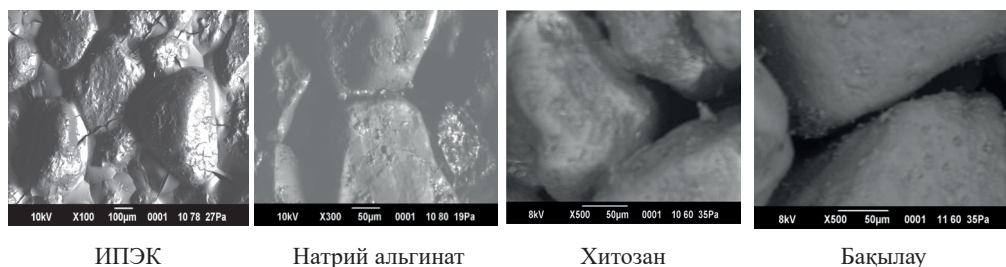


10-суретте көрсетілгендей, флуоресцентті таңбаланған натрий альгинатымен хитозанның топырақа еңу тереңдігі 21-23 мм құрады (10-сурет (1,2)). Бұл полимерлердің топырақтың беткі қабатында жабын түзбейтінің және топыраққа тереңірек енетіндігін көрсетті. Биополимерлердің судың әсерінен топыраққа тереңірек өтіп, біртіндеп шайылатындығы байқалды (10-сурет (1.1, 2.1)).

Ал флуоресцентті таңбаланған ИПЭК топырақ қабатына 16 мм ге дейін еніп, беткі қабатында 2 мм тереңдікке дейін топырақ жабының қалыптастырды (10-сурет (3)) және сумен шайылғаннан кейін сол қалпында сақталғаны байқалды (10-сурет (3.1)).

Сонымен қатар, ИПЭК-пен топырақ бөлшектерінің (0,50–0,25) өзара байланысуын және полимерлі-топырақ жабының қалыптасуын СЭМ сканирлеуші электрондық микроскоптың көмегімен түсірілген микрофотосуреттер дәлелдеді (**11-сурет**). Зерттеулер (Berikbol N et al., 2024; Klivenko A et al., 2020) бойынша мұндай жабынның топырақтың беткі қабатын бітемей, ылғал мен ауаның терең қабаттарға өтуін сақтайтыны расталды.

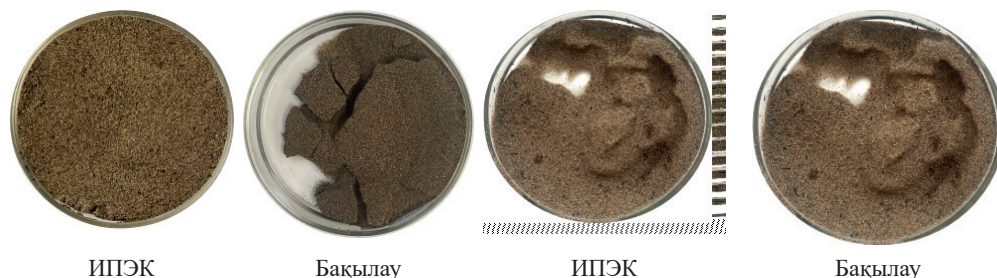
11-сурет. Топырақ агрегаттарының микроскопиялық фотосуреттер



Осы қасиеттер биоыдырайтын полимерлер мен ИПЭК-ті топырақ құрылымын жақсарту және оның агрегаттарының тұрақтылығын арттыру үшін тиімді құрал етеді.

12-13 суреттерде модельдік зертханалық тәжірибе жағдайында су мен желдің әсерінен полимерлермен және ИПЭК-пен өңделген топырақ эрозиясының нәтижелері көрсетілген.

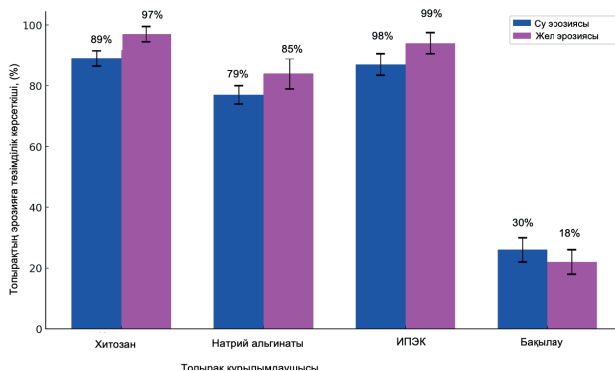
12-сурет. Жел эрозиясы тәжірбиесінен кейінгі топырақ үлгілерінің беткі қабаты



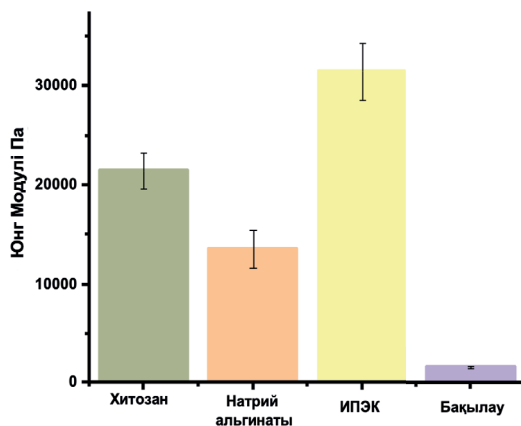
13-сурет. Су эрозиясы тәжірбиесінен кейінгі топырақ үлгілерінің беткі қабаты

ИПЭК-пен өңдеу топырақтың беткі қабатын су және жел эрозиясынан қорғаудың ең жоғары бекітуші әсер көрсетті. ИПЭК-пен өндегеннен кейін топырақтың су эрозиясына төзімділігі 68%-ға, ал жел эрозиясына төзімділігі тиісінше 81%-ға жоғарылады (14-сурет). ИПЭК құрамындағы гидрофильді (анионды) және гидрофобты (катион) фрагменттердің болуы топырақ бөлшектерінің зарядталған бетімен электростатикалық әрекеттесуі нәтижесінде микроагрегаттардың үстінде қорғаныштық полимерлі қабықтың қалыптасуын жеңілдетеді.

14-сурет. Топырақ бөлшектерінің су жел эрозиясына төзімділігі



Топырақтың эрозиясына қарсы хитозан, натрий альгинаты және ИПЭК-тің әсерін зерттеу үшін топырақ-полимерлі композиттердің механикалық сынақтары жүргізілді (15-сурет).

*15-сурет. Полимерлі жабынмен қапталған топырақтың механикалық қасиеттері*

Топырақ бетінде түзілген топырақ–полимерлі жабындардың Юнг модулі айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті. 15-суреттен көріп отырғандай, Юнг модулінің ең жоғары мәні ИПЭК-пен өңделген топырақ үлгісінде тіркелді және ол 31631 Па құрады. Хитозан және натрий альгинаты негізіндегі топырақ–полимерлі жабындардың көрсеткіші төмен болды (21031 Па және 13280 Па). Дистилденген сумен өңделген бақылау үлгілерінде 1619 Па байқалды. Жеке полимерлермен және сумен модификацияланған үлгілерге қарағанда ИПЭК бар композиттердің механикалық беріктігінің жоғары болуы тұқымның өнуіне және өсімдіктердің дамуына кедергі келтірмейді, себебі Юнг модулінің анықталған мәндері өсімдік жасушаларындағы тургорлық қысымнан аспайды (Berikbol et al., 2024; Klivenko et al., 2020). Алынған мәліметтер ИПЭК-тің эрозияға бейім орманды құмды топырақтардың құрылымдық тұрақтылығын арттыруда тиімділігін көрсетеді.

**Қорытынды.** Алғаш рет коммерциялық полимер үлгілерінен флуоресцентті таңбаланған хитозан және натрий альгинаты синтезделді, олардың шығымы тиісінше 95% және 96% құрады. Бұл синтезделіп алынған полимерлер мен ИПЭК-ті құмды топыраққа еңу тереңдігі мен шайылу дәрежесін зерттеу мақсатында қолданылды. Синтез барысында хитозанның амин тобы флуоресцеин изотиоцианатының изотиоцианат тобымен әрекеттесіп, тиомочевина байланысын түзді, ал натрий альгинатының карбоксил тобы флуоресцинаминнің амин тобымен қосылысы амидтік байланыс арқылы жүзеге асты. ИҚ-спектроскопия нәтижелері бойынша флуоресцентті таңбаланған полимерлермен ИПЭК-тің химиялық құрылымы дәлелденді. Реологиялық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде полимерлер мен [1:9], [2:8], [3:7], [4:6] мольдік қатынастағы ИПЭК-дің ньютондық емес псевдопластикалық қасиетке ие ағысы анықталды. Флуоресцентті таңбаланған полимерлердің топыраққа еңу тереңдігі 21-23 мм құрады. Ал, флуоресцентті таңбаланған ИПЭК-тің еңу тереңдігі 16 мм және топырақтың беткі қабатында 2мм қалыңдықта топырақ жабының қалыптастырды. Су әсерінен кейін полимерлермен

салыстырғанда ИПЭК-тің сумен шайылмайтындығы байқалды. Сонымен қатар, ИПЭК топырақтың механикалық беріктігін 19 есе арттырды. ИПЭК пен өңделген топырақтың эрозияға төзімділігі 98–99% құрады, бақылау нұсқасынан 68–81% жоғары. [Хитозан:натрий альгинаты] = [2:8] мольдік қатынасындағы ИПЭК-ті орманды топырақтың құрылымын жақсартуға арналған эрозияға қарсы құрылымдаушы ретінде ұсынуға болады.

#### Әдебиеттер

Панова И.Г., Ильясов Л.А., Ярославов А.Б. (2021) Поликомплексные рецептуры для защиты почв от деградации. Высокомолекулярные соединения. Серия С, 63(2). — С. 148–155. DOI:10.31857/S0514142921020106

Adamczuk A., Kercheva M., Hristova M., Jozefaciuk G. (2021) Impact of chitosan on water stability and wettability of soils. *Materials*, 14(24). — Article 7676. DOI:10.3390/ma14247676

Belalia F., Djelali N. (2014) Rheological properties of sodium alginate solutions. *Revue Roumaine de Chimie*, 59(2). — P. 81–86.

Berikbol N., Klivenko A., Markin V., Orazzhanova L., Yelemessova G., Kassymova Z. (2024) Development of interpolyelectrolyte complex based on chitosan and carboxymethylcellulose for stabilizing sandy soil and stimulating vegetation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polymers*, 16(16). — Article 2373. DOI:10.3390/polym16162373

Caprifico A., Polycarpou E., Foot P.J.S., Calabrese G. (2020) Biomedical and pharmacological—applications of chitosan—based nanocarriers incorporating fluorescein isothiocyanate. *Macromolecular Bioscience*, 21(1). — Article ID 2000312. — P. 2—27. DOI: 10.1002/mabi.202000312.1

Chang I., Im J., Cho G.—C. (2016) Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability*, 8(3). — Article 251. DOI:10.3390/su8030251

Fatehi H., Ong D., Yu J., Chang I. (2023) The effects of particle size distribution and moisture variation on mechanical strength of biopolymer—treated soil. *Polymers*, 15(6). — Article 1427. DOI:10.3390/polym15061427

Hataf N., Ghadir P., Ranjbar N. (2018) Investigation of soil stabilization using chitosan biopolymer. *Journal of Cleaner Production*, 170. — P. 1493–1500. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.266

Hermanson G.T. (2008) *Bioconjugate Techniques*. — 2nd ed. Burlington, MA, USA: Academic Press. — 1041 p.

Izumrudov V.A., Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S., Klivenko A.N., Orazzhanova L.K. (2019) Interpolyelectrolyte complexes: advances and prospects of application. *Russian Chemical Reviews*, 88(10). — С. 1046–1062. DOI:10.1070/RCR4877

Kabanov V.A., Zezin A.B. (1984) Soluble interpolymeric complexes as a new class of synthetic polyelectrolytes. *Pure and Applied Chemistry*, 56(3). — P. 343–354. <https://doi.org/10.1351/pac198456030343>

Kassymova Zh.S., Orazzhanova L.K., Bayakhmetova B.B., Gaisina B.S., Kassenova N.B., Yelemessova G.T. (2019) Preparation of interpolymer complexes of chitosan and sodium alginate. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 93(1). — P. 17–24. DOI:10.31489/2019Ch1/17-24

Klivenko A., Orazzhanova L., Mussabayeva B., Yelemessova G., Kassymova Z. (2020) Soil structuring using interpolyelectrolyte complexes of water—soluble polysaccharides. *Polymers for Advanced Technologies*, 31. — P. 3292–3301. DOI:10.1002/pat.5029

Komoto D., Furuike T., Tamura H. (2019) Preparation of polyelectrolyte complex gel of sodium alginate with chitosan using basic solution of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126. — P. 54–59. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.195

Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S., Orazzhanova L.K., Klivenko A.N., Sabitova A.N., Bayakhmetova B.B. (2022) Interpolyelectrolyte complex chitosan—alginate for soil structuring. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 107(3). — P. 102–114. DOI:10.31489/2022Ch3/3-22-11

Novoskoltseva O.A., Belov A.A., Loiko N.G., Nikolaev Y.A., Panova I.G., and Yaroslavov A.A..

(2022) Biodegradable Interpolycomplexes for Anti-Erosion Stabilization of Soil and Sand. *Polymers*, 14. <https://doi.org/10.3390/polym14245383>

Rocha R.F.P., Costa M.P.M., da Costa A.C.A., Ferreira I.L.M. (2024) Study of the degradation in an ultisol of alginate-chitosan complex and its stability and applicability as a soil conditioner. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264(1). — Article 130384. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130384

Román-Doval R., Torres-Arellanes S.P., Tenorio-Barajas A.Y., Gómez-Sánchez A., Valencia-Lazcano A.A. (2023) Chitosan: Properties and its application in agriculture in context of molecular weight. *Polymers*, 15(13). — Article 2867. DOI:10.3390/polym15132867

Temurayak A., Eskisar T., Eskisar T. (2023) Clay Soil Stabilization Using Xanthan Gum and Sodium Alginate as Biopolymers. In: 5th International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

Zhang, X. et al. Sodium alginate/sodium lignosulfonate hydrogel based on inert Ca<sup>2+</sup> activation for water conservation and growth promotion (2024) *Environ. Res.*, 246, 118144.

### References

Panova I.G., Il'yasov L.A., Yaroslavov A.B. (2021) Polikompleksnyye receptury dlya zashchity pochv ot degradatsii [Polycomplex Formulations for the Protection of Soils Against Degradation]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya C*, 63(2). — P. 148–155. (in Russian)

Adamczuk A., Kercheva M., Hristova M., Jozefaciuk G. (2021) Impact of chitosan on water stability and wettability of soils. *Materials*, 14(24). — Article 7676. DOI:10.3390/ma14247676 (in English)

Belalia F., Djelali N. (2014) Rheological properties of sodium alginate solutions. *Revue Roumaine de Chimie*, 59(2). — P. 81–86. (in English)

Berikbol N., Klivenko A., Markin V., Orazzhanova L., Yelemessova G., Kassymova Z. (2024) Development of interpolyelectrolyte complex based on chitosan and carboxymethylcellulose for stabilizing sandy soil and stimulating vegetation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polymers*, 16(16). — Article 2373. DOI:10.3390/polym16162373 (in English)

Chang I., Im J., Cho G.—C. (2016) Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability*, 8(3). — Article 251. DOI:10.3390/su8030251 (in English)

Caprifico A., Polycarpou E., Foot P.J.S., Calabrese G. (2020) Biomedical and pharmacological—applications of chitosan—based nanocarriers incorporating fluorescein isothiocyanate. *Macromolecular Bioscience*, 21(1). — Article ID 2000312. — P. 2-27. DOI: 10.1002/mabi.202000312.1 (in English)

Fatehi H., Ong D., Yu J., Chang I. (2023) The effects of particle size distribution and moisture variation on mechanical strength of biopolymer-treated soil. *Polymers*, 15(6). — Article 1427. DOI:10.3390/polym15061427 (in English)

Hataf N., Ghadir P., Ranjbar N. (2018) Investigation of soil stabilization using chitosan biopolymer. *Journal of Cleaner Production*, 170. — P. 1493-1500. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.266 (in English)

Hermanson G.T. (2008) *Bioconjugate Techniques*. — 2nd ed. Burlington, MA, USA: Academic Press. — 1041 p. (in English)

Izumrudov V.A., Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S., Klivenko A.N., Orazzhanova L.K. (2019) Interpolyelectrolyte complexes: advances and prospects of application. *Russian Chemical Reviews*, 88(10). — P. 1046-1062. DOI:10.1070/RCR4877 (in English)

Kabanov V.A., Zezin A.B. (1984) Soluble interpolymeric complexes as a new class of synthetic polyelectrolytes. *Pure and Applied Chemistry*, 56(3). — P. 343-354. <https://doi.org/10.1351/pac198456030343> (in English)

Kassymova Zh.S., Orazzhanova L.K., Bayakhmetova B.B., Gaisina B.S., Kassenova N.B., Yelemessova G.T. (2019) Preparation of interpolymer complexes of chitosan and sodium alginate. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 93(1). — P. 17-24. DOI:10.31489/2019Ch1/17—24 (in English)

Klivenko A., Orazzhanova L., Mussabayeva B., Yelemessova G., Kassymova Z. (2020) Soil structuring using interpolyelectrolyte complexes of water—soluble polysaccharides. *Polymers for Advanced Technologies*, 31. — P. 3292-3301. DOI:10.1002/pat.5029 (in English)

Komoto D., Furuike T., Tamura H. (2019) Preparation of polyelectrolyte complex gel of sodium alginate

with chitosan using basic solution of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126. —P. 54–59. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.195 (in English)

Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S., Orazzhanova L.K., Klivenko A.N., Sabitova A.N., Bayakhmetova B.B. (2022) Interpolyelectrolyte complex chitosan–alginate for soil structuring. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 107(3). – P. 102-114. DOI:10.31489/2022Ch3/3-22-11 (in English)

Nurakhmetova Z., Tatykhanova G., Kudaibergenov S. (2020) Immobilized anticancer agents and metal nanoparticles in a matrix of gellan: achievements and prospects. *Chemical Bulletin of Kazakh National University*, 99(4). — P. 32-41. <https://doi.org/10.15328/cb1169> (in English)

Rocha R.F.P., Costa M.P.M., da Costa A.C.A., Ferreira I.L.M. (2024) Study of the degradation in an ultisol of alginate—chitosan complex and its stability and applicability as a soil conditioner. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264(1). – Article 130384. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130384 (in English)

Román-Doval R., Torres-Arellanes S.P., Tenorio-Barajas A.Y., Gómez-Sánchez A., Valencia-Lazcano A.A. (2023) Chitosan: Properties and its application in agriculture in context of molecular weight. *Polymers*, 15(13). — Article 2867. DOI:10.3390/polym15132867 (in English)

Temurayak A., Eskisar T., Eskisar T. (2023) Clay Soil Stabilization Using Xanthan Gum and Sodium Alginate as Biopolymers. In: *5th International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. (in English)

Zhang, X. (2024) Sodium alginate/sodium lignosulfonate hydrogel based on inert Ca<sup>2+</sup> activation for water conservation and growth promotion. *Environ. Res.*, 246, 118144. (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](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 3.09.2025.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
18,0 п.л. Заказ 3.