

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

2025 • 2



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

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

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. KZ31VPY00111215 issued 31. 01. 2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2025

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрыңұлы, 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 Нұрәліұлы, 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 оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

ОЛИВЬЕРО Росси 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 Құнтай Ағвазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фарабиатындағы 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 Арслан Зайнуталлаұлы, 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>

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі 31.01.2025 ж. берген № KZ31VPY00111215 Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

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

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2025

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>

ОЛИВЬЕРО 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>

САИГ-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 Кунтайт Авгазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

БҮРКИТБАЕВ 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 Жаббагаевич, 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 Мелеу 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>

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

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

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство №**KZ31VPY0011215** 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 **31.01.2025**

Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

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

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

CONTENTS

PHYSICS

A.A. Gazizova, D.M. Nasirova, V.O. Kurmangaliyeva, Sh.I. Khamraev DISTRIBUTION OF PRESSURE AND TEMPERATURE IN NEUTRON STARS: NUMERICAL ANALYSIS.....	11
A. Dalelkhankyzy, G. Baimbetova, N. Koilyk, S. Toktarbay, A. Beisebayeva QUASISPIN FORMALISM OF INTERACTION BETWEEN BOSONS AND ITS APPLICATION IN NUCLEAR THEORY.....	22
N.K. Zhusupova, V.N. Zhumabekova, A.A. Zhadyranova DETERMINATION OF ANTINEUTRON-NUCLEAR SCATTERING AMPLITUDE.....	34
V. Mukamedenkyzy, B. Akberdiyev INVESTIGATION OF CONCENTRATION FIELDS IN BINARY GAS MIXTURES IN THE PRESENCE OF CONVECTIVE FLOWS.....	46
A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S.Sittykova, D. Kadyrova SEARCHING FOR INNER-EARTH ASTEROIDS.....	62
G.B. Suliyeva, M.A. Makukov, E.G. Mychelkin TWO TYPES OF SCALAR BACKGROUND VISUALIZATION.....	79
U.A. Ualikhanova, A.M. Konys, A.B. Altaibayeva, Zh.M. Beisekeyeva DYNAMICAL SYSTEMS ANALYSIS OF $f(R,T) = R + \beta T^m$ COSMOLOGY.....	94
Zh.S. Umbetova, U.U. Abdizhalilova DYNAMICS OF THE EVOLUTION OF ANISOTROPIC COMPACT STARS IN $f(\tau)$ TELEPARALLEL GRAVITY.....	105
L.I. Shestakova, R.R. Spassyyuk DESTRUCTION OF SMALL BODIES COMPOSED OF SILICATES BY THERMAL STRESSES.THERMAL EMISSION OF DISRUPTION PRODUCTS.....	121
S.A. Shomshekova, L.K. Kondratyeva, I.V. Reva, L. Aktay, V.Y. Kim STUDIES OF THE MRK 766 GALAXY IN THE OPTICAL RANGE.....	138

CHEMISTRY

D.T. Altynbekova, B.K. Massalimova, B.E. Begenova, A. Darmenbayeva, M.D. Akanova SYNTHESIS AND STUDY OF PROTON CONDUCTIVITY OF NANOCOMPOSITES BASED ON COMPLEX OXIDES (LaNbO ₄) AND ALLOYS (NiCoOx, CuCoOx, NiCuOx).....	152
--	-----

D.Zh. Amantayeva, M.A. Dyusebayeva, B.K. Kopzhassarov, A.E. Berganayeva, G.E. Berganayeva PHYTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF ULMUS PUMILA LEAVE.....	164
A. Assanov, S.A. Mameshova, G.S. Tatykhanova, T.A. Savitskaya CHEMICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS OF KAZAKHSTAN CLAYS AND STUDY OF THEIR HYDRODISPERSIVE PROPERTIES.....	182
G.S. Akhmetova, U.B. Issayeva, K.D. Praliyev, M.T. Omyrzakov, T.M. Seilkhanov TECHNOLOGY OF PRODUCING 1-(2-ETHOXYETHYL)-4- ADAMANTANECARBONYLOXY-PIPERIDINE HYDROCHLORIDE AND STUDY OF ITS CYTOTOXICITY.....	206
G.Zh. Baisalova, G.K. Token, B.B. Torsykbaeva, A.D. Dukenbayeva, N. Rakhmetova STUDYING THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE PHRAGMITES COMMUNIS PLANT BY GAS CHROMATOGRAPHY–MASS–SPECTROMETRY.....	218
A. Yedilova, Z. Inelova, N. Kurbatova, B. Turalin PHYTOCHEMICAL STUDY OF MEDICINAL PLANT - HUMULUS LUPULUS L., FOR THE PURPOSE OF OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES.....	229
A. Kuandykova, B. Taimasov, E. Potapova, B. Zhakipbayev, N. Zhanikulov STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF CLINKERS OBTAINED FROM METALLURGICAL SLAG.....	242
X.A. Leontyeva, G.M. Khussurova, D.S. Puzikova, A.N. Nefedov, M. Zhurynov PERFORMANCE AND APPLICATION OF ORGANIC CORROSION INHIBITORS IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY OF THE CIS COUNTRIES. REVIEW.....	258
L.K. Orazzhanova, Zh.S. Kassymova, Zh.Zh. Nurtazina, D.K. Asserzhanov, K.K. Kabdulkarimova SYNTHESIS AND APPLICATION OF IRON NANOPARTICLES FOR THE PRODUCTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES CHLORELLA VULGARIS.....	275
B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova SOLID CARBON DIOXIDE ADSORBENT BASED ON ALKALI METAL CARBONATES WITH PROMOTER ADDITIVES.....	291

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

А.А. Ғазизова, Д.М. Насирова, В.О. Құрманғалиева, Ш.И. Хамраев. НЕЙТРОНДЫ ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ҚЫСЫМ МЕН ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ТАРАЛУЫНА САНДЫҚ ТАЛДАУ.....	11
А. Дәлелханқызы, Г. Баймбетова, Н. Қойлық, С. Тоқтарбай, А. Бейсебаева БОЗОНДАР АРАСЫНДАҒЫ ӨЗАРА ӘСЕРЛЕСУДІҢ КВОЗИСПИНДІК ФОРМАЛИЗМІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЯДРОЛЫҚ ТЕОРИЯДАҒЫ ҚОЛДАНЫЛУЫ.....	22
Н.К. Жусупова, В.Н. Жумабекова, А.А. Жадыранова АНТИНЕЙТРОНДАРДЫҢ ЯДРОДАН ШАШЫРАУ АМПЛИТУДАСЫН АНЫҚТАУ.....	34
В. Мукамеденқызы, Б. Ақбердиев КОНВЕКТИВТІ АҒЫНДАР КЕЗІНДЕ БИНАРЛЫ ГАЗ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ ӨРІСТЕРДІ ЗЕРТТЕУ.....	46
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова ІШКІ ЖЕР ОРБИТАСЫНДА АСТЕРОИДТАРДЫ ІЗДЕУ.....	62
Г.Б. Сулиева, М.А. Макуков, Э.Г. Мычелкин СКАЛЯРЛЫ ФОННЫҢ ЕКІ ТҮРЛІ ВИЗУАЛИЗАЦИЯСЫ.....	79
У.А. Уалиханова, А.М. Қоныс, А.Б. Алтайбаева, Ж.М. Бейсекеева $f(R, T) = R + \beta T^m$ КОСМОЛОГИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ТАЛДАУЫ.....	94
Ж.С. Умбетова, У.У. Абдижалилова $f(\tau)$ -ТЕЛЕПАРАЛЛЕЛЬ ГРАВИТАЦИЯСЫНДАҒЫ АНИЗОТРОПТЫ КОМПАКТТЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ.....	105
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк СИЛИКАТТЫ ҚҰРАМДЫ ШАҒЫН ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ КЕРНЕУЛЕРДЕН БҰЗЫЛУЫ. БӨЛШЕКТЕНУ НӘТИЖЕСІНДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН ӨНІМДЕРДІҢ ЖЫЛУЛЫҚ ЭМИССИЯСЫ.....	121
С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.В. Рева, Л. Актай, В.Ю. Ким MRK 766 ГАЛАКТИКАСЫН ОПТИКАЛЫҚ ДИАПАЗОНДА ЗЕРТТЕУ.....	138

ХИМИЯ

Д.Т. Алтынбекова, Б.К. Масалимова, Б.Е. Бегенова, А. Дарменбаева, М.Д. Аканова КҮРДЕЛІ ОКСИДЕР (LaNbO_4) МЕН ҚҰЙМАЛАРДЫҢ (NiCoO_x , CuCoO_x , NiCuO_x) НЕГІЗІНДЕГІ НАНОКОМПОЗИТТЕРДІ СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ПРОТОНӨТКІЗГІШТІГІН ЗЕРТТЕУ.....	152
Д.Ж. Амантаева, М.А. Дюсебаева, Б.К. Копжасаров, А.Е. Берганаева, Г.Е. Берганаева ULMUS PUMILA ЖАПЫРАҚТАРЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ.....	164
А. Асанов, С.А. Мамешова, Г.С. Татыханова, Т.А. Савицкая ҚАЗАҚСТАН САЗДАРЫНЫҢ ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЯЛЫҚ ТАЛДАУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ГИДРОДИСПЕРСИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	182
Г.С. Ахметова, Ұ.Б. Исаева, Қ.Ж. Пірәлиев, М.Т. Омырзаков, Т.М. Сейлханов 1-(2-ЭТОКСИЭТИЛ)-4-АДАМАНТАНКАРБОНИЛОКСИ-ПИПЕРИДИН ГИДРОХЛОРИДІН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЦИТОУЫТТЫЛЫҚ ӨСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	206
Г.Ж. Байсалова, Г.Қ. Төкен, Б.Б. Торсыкбаева, А.Д. Дукенбаева, Н. Рахметова ГАЗ ХРОМАТОГРАФИЯ–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИЯ ӘДІСІМЕН PHRAGMITES COMMUNIS ӨСІМДІГІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ.....	218
А. Едилова, З. Инелова, Н. Құрбатова, Б. Туралин ДӘРІЛІК HUMULUS LUPULUS L. ӨСІМДІГІНЕН БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРДЫ АЛУ МАҚСАТЫНДАҒЫ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	229
А. Қуандыкова, Б. Таймасов, Е. Потапова, Б. Жакипбаев, Н. Жаникулов МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ШЛАКТАРДАН АЛЫНАТЫН КЛИНКЕРЛЕРДІҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ.....	242
К.А. Леонтьева, Г.М. Хусурова, Д.С. Пузикова, А.Н. Нефедов, М. Жұрынов ТМД ЕЛДЕРІНІҢ МҰНАЙ-ХИМИЯ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ КОРРОЗИЯҒА ҚАРСЫ ОРГАНИКАЛЫҚ ИНГИБИТОРЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ. ШОЛУ.....	258
Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касымова, Ж.Ж. Нуртазина, Д.Қ. Әсержанов, К.К. Кабдулкаримова CHLORELLA VULGARIS БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫН АЛУ ҮШІН ТЕМІР НАНОБӨЛШЕКТЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ.....	275
Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова ПРОМОУТЕРЛІК ҚОСПАЛАРЫ БАР СІЛТІЛІ МЕТАЛЛ КАРБОНАТТАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨМІРҚЫШҚЫЛ ГАЗЫНЫҢ ҚАТТЫ АДСОРБЕНТІ.....	291

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

А.А. Газизова, Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, Ш.И. Хамраев РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗДАХ: ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ.....	11
А. Далелханкызы, Г. Баймбетова, Н. Койлык, С. Токтарбай, А. Бейсебаева КВАЗИСПИНОВЫЙ ФОРМАЛИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЯДЕРНОЙ ТЕОРИИ.....	22
Н.К. Жусупова, В.Н. Жумабекова, А.А. Жадыранова ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДЫ АНТИНЕЙТРОН-ЯДЕРНОГО РАССЕЯНИЯ.....	34
В. Мукамеденкызы, Б. Акбердиев ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В БИНАРНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ ПРИ НАЛИЧИИ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ.....	46
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова ПОИСК АСТЕРОИДОВ ВНУТРИ ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ.....	62
Г.Б. Сулиева, М.А. Макуков, Э.Г. Мычелкин ДВА ТИПА ВИЗУАЛИЗАЦИИ СКАЛЯРНОГО ФОНА.....	79
У.А. Уалиханова, А.М. Коныс, А.Б. Алтайбаева, Ж.М. Бейсекеева АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ $f(R,T) = R + \beta T^m$ КОСМОЛОГИИ.....	94
Ж.С. Умбетова, У.У. Абдижалилова ДИНАМИКА ЭВОЛЮЦИИ АНИЗОТРОПНЫХ КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗД В $f(\tau)$ -ТЕЛЕПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ГРАВИТАЦИИ.....	105
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк РАЗРУШЕНИЕ МАЛЫХ СИЛИКАТНЫХ ТЕЛ ТЕПЛОВЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ. ТЕПЛОВАЯ ЭМИССИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ.....	121
С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.В. Рева, Л. Актай, В.Ю. Ким ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИКИ MRK 766 В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ.....	138

ХИМИЯ

Д.Т. Алтынбекова, Б.К. Масалимова, Б.Е. Бегенова, А. Дарменбаева, М.Д. Аканова СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ (LaNbO_4) И СПЛАВОВ (NiCoO_x , CuCoO_x , NiCuO_x).....	152
---	-----

Д.Ж. Амантаева, М.А. Дюсебаева, Б.К. Копжасаров, А.Е. Берганаева, Г.Е. Берганаева ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИСТЬЕВ ULMUS PUMILA.....	164
А. Асанов, С.А. Мамешова, Г.С. Татыханова, Т.А. Савицкая ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЛИН КАЗАХСТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИХ ГИДРОДИСПЕРСИЙ.....	182
Г.С. Ахметова, Ұ.Б. Исаева, Қ.Ж. Пралиев, М.Т. Омырзаков, Т.М. Сейлханов ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОХЛОРИДА 1-(2-ЭТОКСИЭТИЛ)-4- АДАМАНТАНКАРБОНИЛОКСИ-ПИПЕРИДИНА И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО ЦИТОТОКСИЧНОСТИ.....	206
Г.Ж. Байсалова, Г.К. Токен, Б.Б. Торсыкбаева, А.Д. Дукенбаева, Н. Рахметова ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЯ RHAGMITES COMMUNIS МЕТОДОМ ГАЗ ХРОМАТОГРАФИИ–МАСС–СПЕКТРОМЕТРИИ.....	218
А. Едилова, З. Инелова, Н. Курбатова, Б. Туралин ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ – HUMULUS LUPULUS L. С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	229
А. Куандыкова, Б. Таймасов, Е. Потапова, Б. Жакипбаев, Н. Жаникулов ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ КЛИНКЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ.....	242
К.А. Леонтьева, Г.М. Хусурова, Д.С. Пузикова, А.Н. Нефедов, М. Журинов ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРАН СНГ. ОБЗОР.....	258
Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касымова, Ж.Ж. Нуртазина, Д.К. Асержанов, К.К. Кабдулкаримова СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ CHLORELLA VULGARIS.....	275
Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова ТВЁРДЫЙ АДсорбЕНТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ КАРБОНАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРОМОТИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ.....	291

© **L.K. Orazzhanova, Zh.S. Kassymova*, Zh.Zh. Nurtazina, D.K. Asserzhanov, K.K. Kabdulkarimova, 2025.**

Shakarim University, Semey, Kazakhstan.

E-mail: kasymova-z@mail.ru

SYNTHESIS AND APPLICATION OF IRON NANOPARTICLES FOR THE PRODUCTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES CHLORELLA VULGARIS

L.K. Orazzhanova — candidate of chemical sciences, associate professor of Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

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

Zh.S. Kassymova — candidate of biological sciences, associate professor of Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

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

Zh.Zh. Nurtazina — PhD student of Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: nurtazina830912@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-3731>;

D.K. Asserzhanov — PhD student of Shakarim University, Semey, Kazakhstan,

E-mail: dastan2194.as@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9217-9368>;

K.K. Kabdulkarimova — candidate of chemical sciences, associate professor, Semey, Kazakhstan,

E-mail: gk2107@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-9906>.

Abstract. Relevance. Iron nanoparticles with small sizes, high surface area, various shapes, low toxicity, and unique physicochemical properties are relevant for modifying the *Chlorella vulgaris* nutrient medium. Methods. They were synthesized via sodium borohydride reduction and stabilized with chitosan biopolymer. Optical analysis determined their morphology and size. The iron nanoparticles have an average size of 50–80 nm, black color, and an amorphous structure. IR spectroscopy of the nanoparticles reveals characteristic stretching vibrations of NH groups of chitosan and Fe-O bonds of iron, confirming the stabilizing role of the chitosan matrix. The chemical modification of Tamiya medium was performed by adding 5 g/L of urea and a mixture of 5 g/L urea with 0.55 mg/L iron nanoparticles. Main conclusions. Optical, microscopic, FTIR, and UV spectrophotometric analyses confirmed the efficiency of urea and iron nanoparticles in modifying the *Chlorella* culture medium. Biomass growth increased by 28–50%, while Al, Cu, Cr, and K concentrations doubled, Li and Mn increased fivefold, Fe tenfold, and Mg thirteenfold. Total nitrogen and crude protein content doubled. FTIR spectroscopy revealed the biologically active substances such protein, polysaccharide, and amino acid accumulation in *Chlorella*. UV spectrophotometric analysis showed increased chlorophyll *a* content. Practical

value. This modification of Tamiya nutrient medium enables targeted enhancement of biologically active compounds in *Chlorella* biomass.

Keywords: iron nanoparticles, chitosan, biologically active substances, microalgae, *Chlorella vulgaris*, chemical modification, Tamiya nutrient medium

Funding: *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23488216).*

© Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касимова*, Ж.Ж. Нуртазина, Д.Қ. Әсержанов,
К.К. Кабдулкаримова, 2025.

«Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан.

E-mail: kasymova-z@mail.ru

CHLORELLA VULGARIS БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫН АЛУ ҮШІН ТЕМІР НАНОБӨЛШЕКТЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ

Л.К. Оразжанова — химия ғылымдарының кандидаты, Шәкәрім университетінің қауымдастырылған профессоры, Семей, Қазақстан,

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

Ж.С. Касимова — биология ғылымдарының кандидаты, Шәкәрім университетінің доценті, Семей, Қазақстан,

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

Ж.Ж. Нуртазина — Шәкәрім университетінің 3-курс докторанты, Семей, Қазақстан,

E-mail: nurtazina830912@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-3731>;

Д.Қ. Әсержанов — Шәкәрім университетінің 3-курс докторанты, Семей, Қазақстан,

E-mail: dastan2194.as@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9217-9368>;

К.К. Кабдулкаримова — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Семей, Қазақстан,

E-mail: gk2107@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-9906>.

Аннотация. Өзектілігі. Кіші өлшемді, үлкен меншікті беті, әртүрлі пішіні, төмен уыттылығы, ерекше физика-химиялық және антибактериалды қасиеттері бар темір нанобөлшектерін синтездеу және қолдану *Chlorella vulgaris* микробалдырын өсіруге арналған қоректік ортаны химиялық модификациялау үшін өзекті болып табылады. Әдістер. Темір нанобөлшектері натрий боргидридімен химиялық тотықсыздандыру әдісі арқылы синтезделіп, хитозан биополимерімен тұрақтандырылды. Оптикалық талдау арқылы олардың морфологиясы мен өлшемдері анықталды. Темір нанобөлшектерінің орташа мөлшері 50-80 нм, қара түсті және аморфты құрылымды екенін көрсетті. ИК-спектроскопия нанобөлшектерінің талдауы хитозанның NH-топтарының және темірдің Fe–O байланыстарына тән созылуын көрсетеді, бұл хитозан матрицасының тұрақтандырушы рөлін көрсетеді. Тамия қоректік ортасына 5 г/л несепнәр және 5 г/л несепнәр мен 0,55 мг/л темір нанобөлшектерінің қоспасын қосу арқылы қоректік ортаның химиялық модификациялауы жүргізілді. Негізгі тұжырымдар. Оптикалық, микроскопиялық әдістер, ИК-Фурье спектрометрия және УФ-спектрофотометриялық талдаулар несепнәр мен

темір нанобөлшектерінің хлорелла үшін қоректік ортаны модификациялаудағы тиімділігін растады. Нәтижесінде биомассаның өсуі 28–50%-ға артты, ал элементтердің концентрациясы Al, Cu, Cr, K үшін 2 есе, Li, Mn үшін 5 есе, Fe үшін 10 есе, Mg үшін 13 есе өсті. Жалпы азот пен шикі протеин мөлшері 2 есе артты. ИК-спектрометриялық талдау *Chlorella vulgaris*-тің ақуыз, полисахаридтер және амин қышқылдары сияқты биологиялық белсенді заттардың жинақталғанын көрсетті. УФ-спектрофотометрия хлорофилл *a* мөлшерінің артқанын көрсетті. Практикалық құндылық. Зерттелген Тамия қоректік ортасының бұл химиялық модификациясы *Chlorella* биомассасындағы биологиялық белсенді заттардың мақсатты түрде көбеюіне мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: темір нанобөлшектері, хитозан, биологиялық белсенді заттар, микробалдыр, *Chlorella vulgaris*, химиялық модификация, Тамия өсіру ортасы

© Л.К. Оразжанова, Ж.С. Касымова*, Ж.Ж. Нуртазина, Д.К. Асержанов,
К.К. Кабдулкаримова, 2025.

НАО «Университет Шакарима», Семей, Казахстан.

E-mail: kasymova-z@mail.ru

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ CHLORELLA VULGARIS

Л.К. Оразжанова — кандидат химических наук, ассоциированный профессор Университета Шакарима, Семей, Казахстан,

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

Ж.С. Касымова — кандидат биологических наук, доцент Университета Шакарима, Семей, Казахстан,

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

Ж.Ж. Нуртазина — докторант 3 курса Университета Шакарима, Семей, Казахстан,

E-mail: nurtazina830912@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4315-3731>;

Д.К. Асержанов — докторант 3 курса Университета Шакарима, Семей, Казахстан,

E-mail: dastan2194.as@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9217-9368>;

К.К. Кабдулкаримова — кандидат химических наук, доцент, Астана, Казахстан,

E-mail: gk2107@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-9906>.

Аннотация. Актуальность. Синтез и применение наночастиц железа с малыми размерами, большой удельной поверхностью, различными формами, малой токсичностью, уникальными физико-химическими и антибактериальными свойствами является актуальным при химической модификации питательной среды для культивирования микроводоросли хлорелла *Chlorella vulgaris*. Методы. Наночастицы железа были получены методом химического восстановления боргидридом натрия и стабилизацией биополимером хитозаном. Методами оптического анализа установлена морфология и размеры наночастиц. Наночастицы железа имеют средний размер 50–80 нм, черный цвет и аморфную структуру. ИК-спектроскопия наночастиц показала характерное растяжение NH-групп хи-

тозана и Fe-O связей железа, что подтверждает стабилизирующую роль хитозановой матрицы. Химическая модификация стандартной среды Тамия осуществлялась внесением 5 г/л мочевины и смеси из 5г/л мочевины и 0.55 мг/л наночастиц железа. Основные выводы. Методами оптического, микроскопического, ИК-Фурье-спектрометрического и УФ-спектрофотометрического анализов показали эффективность мочевины и наночастиц железа в химической модификации культуральной среды хлореллы. При этом прирост биомассы увеличился на 28-50 %, концентрации элементов возросли в 2 раза для Al, Cu, Cr, K, в 5 раз для Li, Mn, в 10 раз для Fe и в 13 раз для Mg, содержание общего азота и сырого протеина возросло в 2 раза. ИК-спектрометрическое исследование химического состава *Chlorella vulgaris* показало накопление таких биологически активных веществ, как белки, полисахариды, аминокислоты. УФ-спектрофотометрический анализ показал накопление хлорофилла *a*. Практическая значимость. Изученная химическая модификация питательной среды Тамия представляет возможность целенаправленного увеличения биологически активных веществ в биомассе хлореллы.

Ключевые слова: наночастицы железа, хитозан, биологически активные вещества, микроводоросль, *Chlorella vulgaris*, химическая модификация, питательная среда Тамия

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант AP23488216 «Разработка технологии химической модификации культивирования хлореллы с применением биополимеров и наночастиц для создания биологически активных веществ».

Введение. Анализ литературных данных показывает устойчивую тенденцию в области синтеза и применения наночастиц (НЧ) железа в различных отраслях науки и техники, в том числе в химической модификации состава биологически активных веществ (БАВ) на основе живых объектов (рисунок 1).

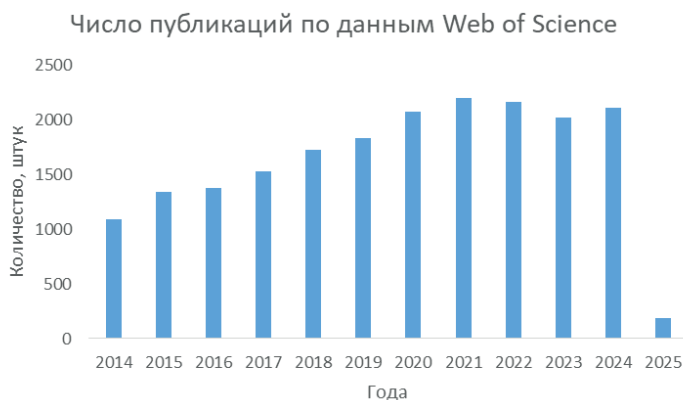


Рисунок 1. Сведения о публикациях по синтезу и применению НЧ железа.

Широкое распространение НЧ железа связано с их малыми размерами, большой удельной поверхностью, различными формами и уникальными физико-химическими и антибактериальными свойствами. Также отмечается их менее выраженная токсичность по сравнению с НЧ серебра, золота и др. (Kumar, et al., 2023; Hussain, et al., 2023; Ashrafi-Saiedlou, et al., 2025). Существующие методы синтеза НЧ железа делятся на физические, химические и биологические (Xu, et al., 2022). В отличие от других методов химический синтез основан на восстановлении ионов металла до НЧ с помощью восстановителя. Отличием химического метода является то, что можно получить НЧ металлов с заданными параметрами: наноразмерность и форма. Также при необходимости можно выделить НЧ из реакционной среды, не теряя их функциональной активности. Главной задачей в химическом методе является стабилизация полученных НЧ, так как они подвержены агрегации и обратному превращению в ионы металла. Выбор стабилизатора является главной задачей в химическом синтезе.

В связи с разработкой новых методов химического синтеза экологически чистых НЧ железа приоритетными стабилизаторами являются природные и нетоксичные материалы, к числу которых относятся такие природные полимеры, как хитозан. Биополимер хитозан благодаря биоразлагаемости, биосовместимости, своим терапевтическим свойствам может безопасно взаимодействовать с живыми организмами, что позволит использовать его в сельском хозяйстве для получения биоактивных добавок для почвы, растений и животных (Hisham, et al., 2024; Jiménez-Gómez, et al., 2020).

Хитозан является одним из дешевых и доступных среди биополимеров. Благодаря наличию активных amino- и гидроксильных функциональных групп в химической структуре (рисунок 2), хитозан обладает такими уникальными свойствами как поликатионность, хелатируемость и пленкообразуемость.

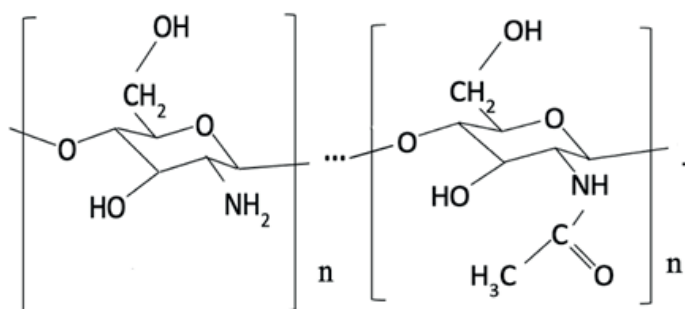


Рисунок 2. Химическая формула хитозана.

Поликатион хитозан играет стабилизирующую роль за счет взаимодействия функциональных групп с НЧ и приводит к их коллоидной устойчивости [Протас и др., 2014]. Стабилизированные хитозаном НЧ железа могут быть использованы для химического модифицирования питательной среды при культивировании микроводоросли хлореллы *Chlorella vulgaris*. Важной особенностью

микроводоросли является ее способность менять свой химический состав в зависимости от питательной среды, что позволяет получить культуру с необходимым набором питательных компонентов (белка до 88%, липидов до 86%, углеводов до 38%) (Kendirlioglu, et al., 2019).

Модификация методов культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris* для их максимального роста и развития, включает создание и изучение физико-химических условий выращивания, таких как температура, освещение, pH, концентрации CO_2 и питательных веществ (Богданова и др., 2019; Deniz, 2020; Дудина и др., 2023). На содержание белка, углеводов, липидов и других химических компонентов в хлорелле значительно влияет концентрация и доступность питательных веществ, таких как макроэлемент азот и микроэлемент железо. Например, концентрация и химическая форма азота в питательной среде оказывают влияние на рост клеток и белковой биомассы хлореллы, поскольку азот является ключевым компонентом аминокислот и белков (Amin, et al., 2013; Yuniarti, et al., 2023). Концентрация железа определяет содержание хлорофилла и активизирует фотосинтетическую деятельность микроводоросли (Плутахин и др., 2017).

Целью данной работы является синтез НЧ железа с применением восстановителя боргидрида натрия и стабилизатора хитозана, а также исследование влияния различных питательных сред с содержанием мочевины и НЧ железа на рост биомассы и химический состав БАВ микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Материалы и методы. Получение НЧ железа проводили химическим методом путем восстановления катиона железа в растворе $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ боргидридом натрия в присутствии экологического и нетоксичного стабилизатора хитозана в соотношении матрица:биополимер $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ M} : 0,15\%$ (Верная и др., 2019; Jaha, et al., 2024). ИК-спектроскопический анализ НЧ железа и сухой биомассы хлореллы проводили на ИК Фурье-спектрометре ФТ-801 с ATR-приставкой при длинах волн от 400 до 4000 cm^{-1} . Исследование морфологии нанопорошка железа и клеток микроводоросли проводили на низковакуумном растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6390 LV компании «JEOL» с системой рентгеноспектрального микроанализа INCA ENERGY 250 фирмы «OXFORD INSTRUMENTS» (Jaha, et al., 2024). Размеры НЧ железа определяли методом динамического лазерного светорассеяния с помощью Malvern Zetasizer NanoZS 90.

Для культивирования микроводоросли использовали коммерческий штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и три вида питательных сред: стандартная среда Тамия (среда 1) и две модифицированные среды Тамия (среда 2 и среда 3). Стандартная среда Тамия характеризовалась следующим составом (г/л): $\text{KNO}_3 - 5.0$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 2.5$; $\text{KH}_2\text{PO}_4 - 1.25$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 0.003$; $\text{H}_3\text{BO}_3 - 2.86$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 1.81$; $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8 - 0.044$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 0.222$; $\text{MoO}_3 - 0.01764$; $\text{NH}_4\text{VO}_3 - 0.0226$. С целью увеличения белковой массы химическое модифицирование среды 2 проводили добавлением в стандартную среду Тамия

5 г/л мочевины. Для получения модифицированной среды 3 в стандартную среду Тамия добавляли 5г/л мочевины, 0.55 мг/л НЧ железа и 0.94 мкг/л хитозана. Процедуру культивирования проводили в лабораторных условиях в светонепроницаемом гроубоксе при температуре $28 \pm 2^\circ\text{C}$ и искусственном освещении с интенсивностью 3000 лк, рН среды 7-9. Фотопериод составлял 16 ч света, 8 ч темноты. Микроводоросль выращивали в прозрачных стеклянных колбах, заполненных культурой и питательной средой в объемном соотношении 1:5. Суспензию микроводоросли непрерывно перемешивали потоком воздуха со скоростью 3 л/ч и концентрацией CO_2 в воздушной смеси 0,03%. Эксперименты проводили в трехкратной биологической и аналитической повторностях. Рост биомассы хлореллы определяли оптическим и микроскопическим методами. Измерение оптической плотности суспензии проводили ежедневно в течение 5 суток с помощью УФ-видимого спектрофотометра Specord 210 plus при длине волны 685 нм.

Микроскопическое изучение суспензии хлореллы проводили путем ежедневного подсчета общего количества клеток в камере Горяева при $\times 400$ увеличении с помощью светового бинокулярного микроскопа LOMO. Выделение НЧ железа из коллоидного раствора и биомассы хлореллы из суспензии проводили центрифугированием при оборотах 1500 мин^{-1} в течение 3 минут. Выделенные НЧ железа и биомассу хлореллы сушили в лиофилизаторе Scientz-12 при температуре -59.1°C . Массовую долю общего азота ($W_N, \%$) и содержание сырого протеина ($W_{\text{пр}}, \%$) в биомассе хлореллы определяли методом Кьельдаля и рассчитывали по формулам 1 и 2:

$$W_N = \frac{(V_1 \cdot C_{N1} - V_2 \cdot C_{N2}) \cdot 14 \cdot 100}{m \cdot 1000} \quad (1)$$

где V_1 – объем H_2SO_4 в приемнике, мл; C_{N1} – нормальная концентрация H_2SO_4 , ммоль/мл; V_2 – объем раствора гидроксида натрия, израсходованного на титрование, мл; C_{N2} – нормальная концентрация NaOH , ммоль/мл; 14 – атомная молярная масса азота, m – навеска сухой биомассы хлореллы, г; 1000-коэффициент пересчета мг атомной массы азота в г.

$$W_{\text{пр}} = 6.25 \cdot N \cdot 0,1 \quad (2)$$

где 6.25 – коэффициент перевода массовой доли азота в массовую долю сырого протеина, N – масса азота в анализируемой пробе (г/кг), пересчитанная из W_N (%); 0,1 – коэффициент, переводящий единицы массовой доли (г/кг) в проценты.

Элементный анализ сухой биомассы хлореллы проводили оптико-эмиссионным методом на спектрометре EXPEC 6500.

Спектрофотометрический анализ хлорофиллов и каротиноидов проводили экстракцией ацетоном при длинах волн 542.5, 663 и 645 нм, соответствующих спектрам поглощения каротиноидов, хлорофилла *a* и хлорофилла *b*.

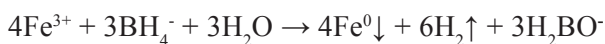
Концентрации (C , мг/л) хлорофиллов a , b и каротиноидов рассчитывали по формулам 3-5 (Iriani, et al., 2024):

$$C_{\text{хлорофилл } a} = (12.7 \cdot D_{663}) - (2.69 \cdot D_{645}) \quad (3)$$

$$C_{\text{хлорофилл } b} = (22.9 \cdot D_{645}) - (4.68 \cdot D_{663}) \quad (4)$$

$$C_{\text{каротиноидов}} = 4.75 \cdot D_{542.5} - 0.226 \cdot D_{663+645} \quad (5)$$

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлен нанопорошок нейтрального железа, синтезированный химическим методом с применением восстановителя боргидрида натрия и стабилизатора хитозана. Восстановление НЧ железа протекает по химической реакции, приведенной в работе [Xu, et al., 2022]:



Стабилизация наночастиц протекает за счет структурного взаимодействия НЧ железа с аминогруппами хитозана, что подтверждается также результатами ИК-спектрометрического анализа (рисунок 3).

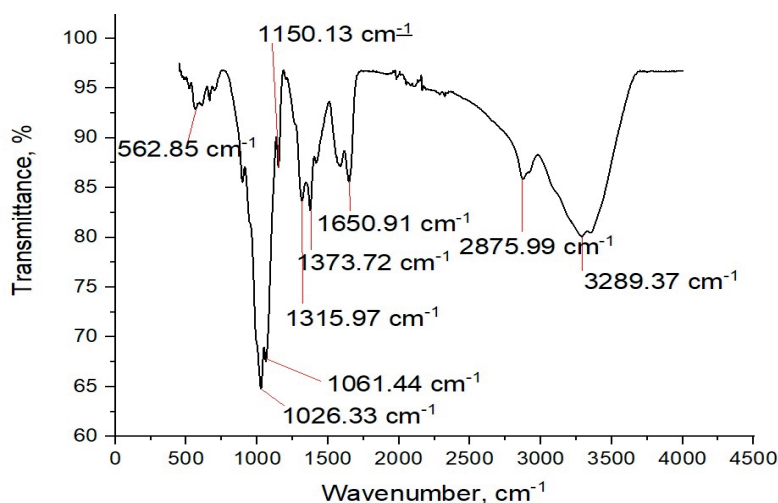


Рисунок 3. ИК-спектры НЧ железа, стабилизированных хитозаном.

ИК-спектры железа с хитозаном показали характерный пик при 3289,37 cm^{-1} , что объясняется растяжениями $-\text{OH}$ и $-\text{NH}$ групп хитозана (Jaha, et al., 2024, Лялина и др., 2022). Синтезированные наночастицы показали пик при 526.85 cm^{-1} , что соответствует растяжению $\text{Fe}-\text{O}$. Структура хитозана также демонстрирует режимы растяжения $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ в области 1315.97, 1373.72 cm^{-1} , подтверждающие включение хитозановой полимерной матрицы в синтезируемые

НЧ. Полиэлектролиты и другие поверхностно-активные вещества могут модифицировать поверхность НЧ посредством физического осаждения и химических связей, что приводит к электростатическому и пространственному отталкиванию и преодолению агрегации между частицами, вызванной ван-дер-Ваальсовыми и магнитными силами.

Полученные НЧ железа имеют черный цвет и аморфную структуру (рисунок 4).

Метод РЭМ показывает, что полученный наноккомпозит почти полностью покрыт полимерной пленкой хитозана, что обеспечивает стабилизацию НЧ железа (рисунок 5). Средний размер НЧ железа составил 50-80 нм (рисунок 6).

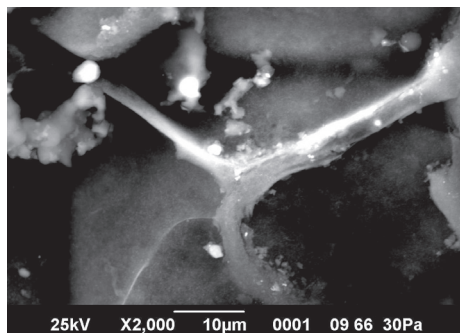
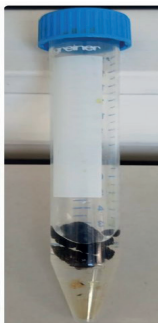
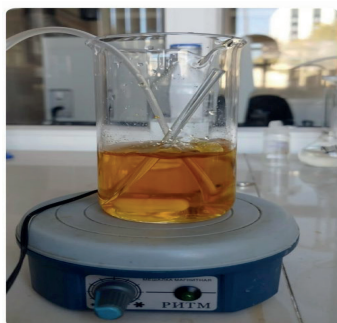


Рисунок 4. Наночастицы железа, полученные с применением биополимера хитозана и боргидрида натрия.

Рисунок 5. РЭМ-изображение НЧ железа с хитозаном.

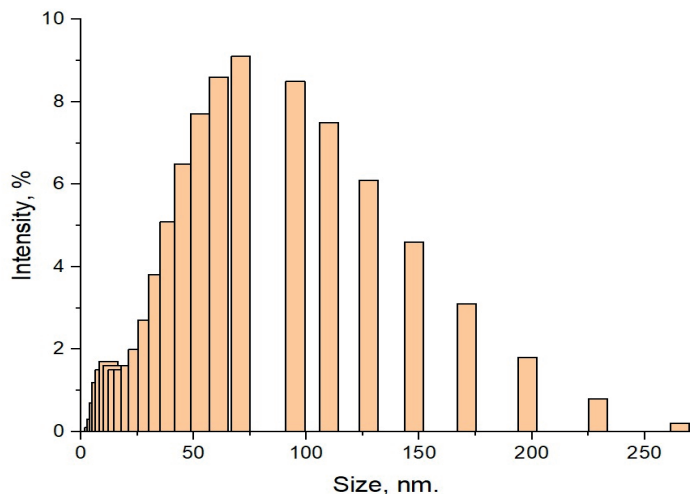


Рисунок 6. Размеры наночастиц железа.

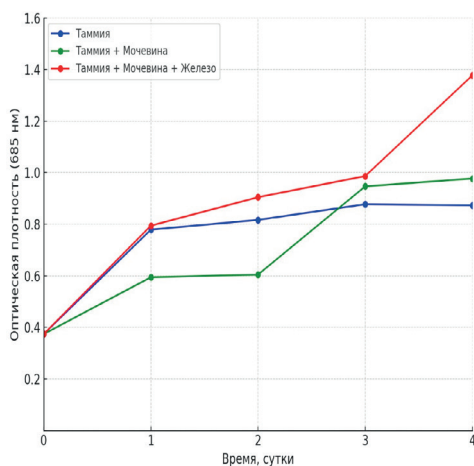
Низкая токсичность НЧ железа, стимулирующее влияние на синтез железосодержащих ферментов, пролонгированность действия на

фотосинтетическую деятельность биосистемы являются предпосылками для использования их в качестве биостимулятора роста хлореллы.

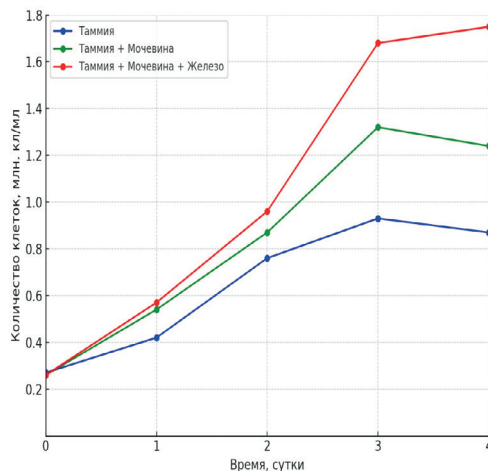
Также для физиологии и роста клеток микроводоросли очень важен источник азота, которым является мочевина.

На рисунке 7 представлена динамика изменения оптической плотности суспензии (рис. 7а) и количества клеток (рис. 7б) микроводоросли *Chlorella vulgaris* (685 нм) в зависимости от продолжительности культивирования для трех питательных сред.

Как видно из рисунка 7, в течение первого дня эксперимента оптическая плотность культуры и концентрация клеток во всех питательных средах изменялись менее заметно, что может быть связано с адаптацией клеток к условиям среды. Со 2-го дня наблюдалось увеличение оптической плотности и количества клеток культуры во всех средах, которое указывает на рост биомассы и жизнеспособность микроводоросли. Результаты измерений показали, что все три питательные среды стимулируют рост *Chlorella vulgaris*, однако модифицированная среда 3 демонстрирует большую эффективность в увеличении биомассы микроводорослей, при этом на 4 сутки их культивирования прирост биомассы в этой среде на 28-50 % больше, чем в средах 1 и 2. Значительный рост биомассы в среде 3 объясняется присутствием мочевины и НЧ железа (Плутахин и др., 2017; Gasanova, et al., 2019). Сухая биомасса микроводоросли, культивированной на модифицированных средах, увеличилась на 11% по сравнению со стандартной средой 1.



(а)



(б)

Рисунок 7. Динамика роста микроводоросли *Chlorella vulgaris* в стандартной и модифицированных средах Таммийя: изменение оптической плотности (а), количество клеток (б).

На рисунке 8 представлены РЭМ микрофотографии микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

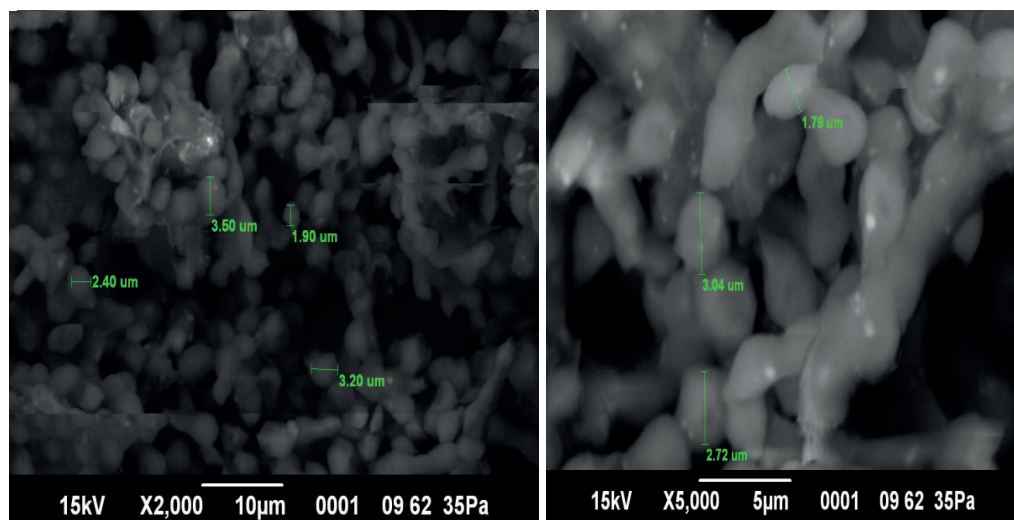


Рисунок 8. Сканирующая электронная микрофотография *Chlorella vulgaris*.

На сканирующих электронных микрофотографиях видно, что клетки микроводоросли имеют чаще округлую и реже овальную форму со средними размерами 2-3 мкм.

В результате элементного анализа изучено содержание наиболее распространенных элементов в сухой биомассе хлореллы (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты элементного анализа сухой биомассы хлореллы.

Питательная среда	Содержание элементов, мг/г			
	Al	Cu	Cr	Fe
	1	2	3	4
Среда 1	0.731±0.005	0.368±0.001	0.496±0.001	0.239±0.001
Среда 2	0.758±0.002	1.321±0.003	1.042±0.003	1.833±0.004
Среда 3	1.621±0.001	1.323±0.002	1.039±0.002	2.429±0.003
Питательная среда	Содержание элементов, мг/г			
	K	Li	Mg	Mn
	5	6	7	8
Среда 1	2.088±0.002	0.014±0.001	0.704±0.007	0.019±0.001
Среда 2	4.458±0.003	0.3875±0.01	7.562±0.003	0.09125±0.003
Среда 3	4.329±0.001	0.0744±0.002	9.829±0.004	0.102±0.002

Данные элементного анализа показали увеличение концентрации всех элементов в хлорелле, культивированной на модифицированных средах в 2 раза для Al, Cu, Cr, K, в 5 раз для Li, Mn, в 10 раз для Fe и в 13 раз для Mg. Добавление в питательную среду мочевины и НЧ железа оказывает стимулирующее действие на накопление жизненно важных компонентов, которые усиливают рост биомассы хлореллы.

С целью подтверждения и наличия в хлорелле белков было проведено ИК-спектрометрическое исследование биомассы (рисунок 9, таблица 2).

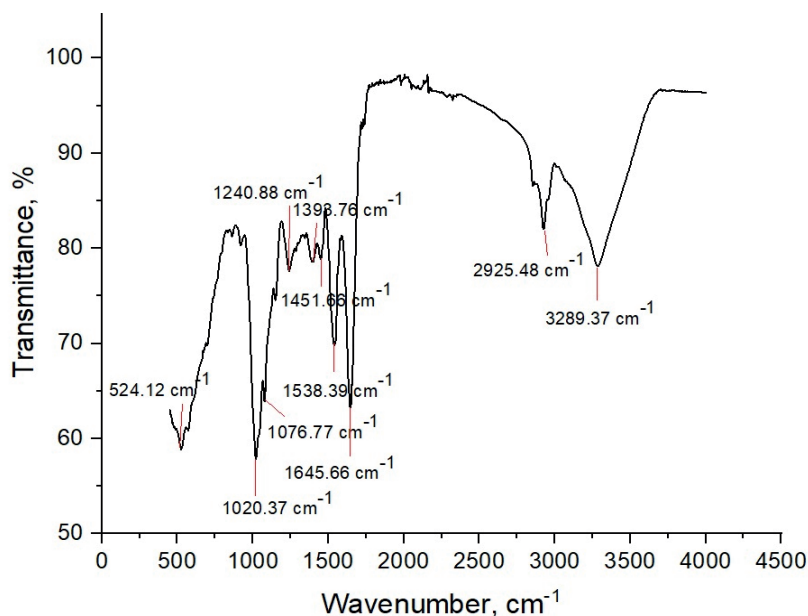


Рисунок 9. ИК-спектры микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Идентификация спектров показала наличие:

валентных колебаний OH-, NH- групп при 3286.54 см⁻¹ для воды, полисахаридов и белков;

валентных колебаний NH- и CH- групп при 2925.48 см⁻¹ для полисахаридов, аминокислот и белков;

валентных колебаний C=O при 1645.66; 1538.39; 1451.66 и 1393.76 см⁻¹ для белков

валентных колебаний CO- и деформационных колебаний OH- при 1240,00 см⁻¹ для спиртов;

валентных колебаний при 1076.77 и 1020.37 см⁻¹ возможно для карбонильных соединений (Ponnuswamy, et al., 2013).

В целом, изученный спектр показывает способность хлореллы к накоплению белка - основного компонента в химическом составе микроводоросли.

В результате химического анализа выявлены невысокие концентрации белка и общего азота в сухой биомассе хлореллы. Содержание общего азота и сырого протеина в хлорелле, выращенной на всех питательных средах приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание общего азота и сырого протеина в *Chlorella vulgaris*, культивированной в стандартной и модифицированной средах Тамийя.

Содержание БАВ	Питательная среда		
	Среда 1	Среда 2	Среда 3
Общий азот (%)	2.0	2.3	4.2
Сырой протеин (%)	12.5	14.7	27.4
Хлорофилл <i>a</i> (мг/л)	29.39	30.20	31.17
Хлорофилл <i>b</i> (мг/л)	52.64	49.93	25.66
Каротиноиды (мг/л)	0.38	0.82	0.38

Невысокую концентрацию общего азота и сырого протеина в биомассе хлореллы, культивированной на среде Тамийя, можно объяснить тем, что маточная культура микроводоросли *Chlorella vulgaris* адаптирована к базовой среде Богданова и на среде Тамийя возможен стрессовый эффект в первом цикле развития. Тем не менее, при модифицировании среды наблюдается увеличение содержания общего азота и сырого протеина в 2 раза. Представленные в таблице 2 результаты содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, показывают хорошую фотосинтетическую деятельность микроводоросли и ее активный рост в начале цикла. Последующее снижение концентрации пигментов позволяют предположить завершение 1 цикла развития хлореллы и необходимость перехода на новый цикл культивирования.

Таким образом, полученные нами экспериментальные данные демонстрируют высокие биостимулирующие свойства мочевины и НЧ железа для модификации питательной среды микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Заключение. Методом химического восстановления со стабилизацией хитозаном синтезированы наночастицы железа со средним размером 50-80 нм. Физико-химическими методами проведена идентификация полученных наночастиц. Проведена химическая модификация питательной среды Тамийя с применением наночастиц железа и мочевины. Изучено влияние различных питательных сред Тамийя на физико-химические показатели (оптическая плотность, количество клеток, содержание общего азота и сырого протеина, хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) микроводоросли *Chlorella vulgaris*. Модифицирование питательных сред приводит к росту биомассы, увеличению содержания БАВ – общего азота, сырого протеина, макро- и микроэлементов, пигментов. Полученные результаты показывают возможность целенаправленного увеличения белковой биомассы хлореллы путем модифицирования питательной среды.

Литература

- Amin N., Khalafallah M., Ali M.A., Abou-Sdera S.A., & Matter I.A. (2013) Effect of some nitrogen sources on growth and lipid of microalgae *Chlorella* sp. for biodiesel production. The Journal of Applied Sciences Research, — 9(8). — P. 4845-4855.
- Ashrafi-Saiedlou S., Rasouli-Sadaghiani M., Fattahi M., Ghosta Y. (2025) Biosynthesis and characterization of iron oxide nanoparticles fabricated using cell-free supernatant of *Pseudomonas fluorescens* for antibacterial, antifungal, antioxidant, and photocatalytic applications. Scientific Reports, — 15. — P. 1018. <https://orcid/10.1038/s41598-024-84974-0>

Богданова А., Флерова Е., Паюта А. (2019) Влияние условий культивирования на качественные и количественные показатели *Chlorella vulgaris*. *Chemistry of Plant Raw Material*. — P. 293-304. <https://orcid/10.14258/jcpr.m.2019045130>.

Верная О.И., Пейсикова А.В., Фуки М.К., Шабатин В.П., Шабатина Т.И. (2019) Влияние реакционных условий на процесс образования наночастиц железа при восстановлении ионов железа (III) боргидридом натрия. *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия*, — № 6 (60). — P. 430-434.

Deniz İ. (2020) Determination of growth conditions for *Chlorella vulgaris*. *Marine Science and Technology Bulletin*, — 9(2). — P. 114-117. <https://orcid/10.33714/masteb.717126>

Дудина Ю.А., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н. (2023) Создание фотобиореактора для эффективного роста хлореллы и изучение влияния спектрального состава света на ее биомассу. *Тимирязевский биологический журнал*, — 1. — P. 15-22. <https://orcid/10.26897/2949-4710-2023-1-15-22>.

Gasanova F. V. (2019) Vliyanie nanochastic na fiziologicheskie karakteristiki i aktivnost' fermentov rastenij, vyrashchennyh v solenyyh pochvah. *Byulleten' nauki i praktiki*, — 5:2. — P. 142-151. <https://orcid/10.33619/2414-2948/39/19>

Hisham F., Maziati Akmal M., Ahmad F., Ahmad K., Samat N. (2024) Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal*, — 15:2. — P. 102424. <https://orcid/10.1016/j.asej.2023.102424>

Hussain A., Yasar M., Ahmad G., Ijaz M., Aziz A., Gharib Nawaz M., Ahmad Khan F., Iqbal H., Shakeel W., Momand H., Ali R., Ahmad S., Shah H., Nadeem M., Ahmad D., Anjum F., Faisal S. (2023) Synthesis, characterization, and applications of iron oxide nanoparticles. *International Journal of Health Sciences*, — 17:4. — P. 3-10.

Iriani D., Feliatra H., Karnila R., Chaianate N., Rozi. (2024) Effect of Media Formulations on Chlorophyll, Antioxidant Activity of *Chlorella vulgaris* and Its Potential as a Health Supplement. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, — 17(1). <https://orcid/10.20473/jipk.v17i.157014>

Jaha H.F., Anwar Y., Al-Maaqar S.M., Kamal T., Khan S.B. (2024). Iron-Based Nanoparticles Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Effectiveness. *Adv. Life Sci.*, — 11(2). — P. 525-532. <https://orcid/10.62940/als.v11i2.3096>

Jiménez-Gómez C., Cecilia Ju. (2020) Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*, — 25(17). — P. 3981. <https://orcid/10.3390/molecules25173981>

Kendirlioglu S., Kadri C. (2019) Effect on nitrogen sources on growth, protein, total lipid amount and pigment content in *Chlorella vulgaris*. *Fresenius Environmental Bulletin*, — No. 4A (28). — P. 3065-3072.

Kumar V., Kumar Kaushik N., Tiwari S.K., Singh D., Singh B. (2023). Green synthesis of iron nanoparticles: Sources and multifarious biotechnological applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, — 253:4. — P. 127017. <https://orcid/10.1016/j.ijbiomac.2023.127017>

Лялина Т.С., Луньков А.П., Варламов В.П. (2022) Получение наночастиц металлов с использованием восстанавливающих агентов и хитозана. *Прикладная биохимия и микробиология*, — Т. 58. — № 2. — P. 108-116. <https://orcid/10.31857/S0555109922020131>

Протас С.А., Богомолова Н.А., Тюкова И.С. (2014) Стабилизация золей наночастиц оксида железа в растворах хитозана разной концентрации. *Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов XXIV Российской молодежной научной конференции, посвященной 170-летию открытия химического элемента рутений*. — С. 31-32.

Xu W., Yang T., Liu Sh., Du L., Chen Q., Li X., Dong J., Zhang Zh., Lu S., Gong Y., Zhou L., Liu Y., Tan X. (2022) Insights into the Synthesis, types and application of iron Nanoparticles: The overlooked significance of environmental effects. *Environment International*, — 158. — P. 106980. <https://orcid/10.1016/j.envint.2021.106980>

Yuniarti A., Fakhri M., Arifin N. B., & Hariati A. M. (2023) Effects of Various Nitrogen Sources on the Growth and Biochemical Composition of *Chlorella* sp. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, — 15(2). — P. 448–457. <https://orcid/10.20473/jipk.v15i2.43182>

Плутахин Г.А., Мачнева Н. Л., Трохимчук Н.Н. (2017) Интенсификация культивирования хлореллы с использованием наночастиц железа. *Научный журнал КубГАУ*, — №126 (02). <https://orcid/10.21515/1990-4665-126-054>

Ponnuswamy I., Madhavan S. and Shabudeen S. (2013) Isolation and Characterization of Green Microalgae for Carbon Sequestration, Waste Water Treatment and Bio-fuel Production. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, — 5:2. — P. 17-26.

References

Amin N., Khalafallah M., Ali M.A., Abou-Sdera S.A., & Matter I.A. (2013) Effect of some nitrogen sources on growth and lipid of microalgae *Chlorella* sp. for biodiesel production. *The Journal of Applied Sciences Research*, — 9(8). — P. 4845-4855. (in English)

Ashrafi-Saiedlou S., Rasouli-Sadaghiani M., Fattahi M., Ghosha Y. (2025) Biosynthesis and characterization of iron oxide nanoparticles fabricated using cell-free supernatant of *Pseudomonas fluorescens* for antibacterial, antifungal, antioxidant, and photocatalytic applications. *Scientific Reports*, — 15. — P. 1018. <https://orcid/10.1038/s41598-024-84974-0> (in English)

Bogdanova A., Flerova E., Payuta A. (2019) Vliyanie uslovii kultivirovaniya na kachestvennye i kolichestvennye pokazateli *Chlorella vulgaris* [Influence of cultivation conditions on qualitative and quantitative indicators of *Chlorella vulgaris*]. *Chemistry of Plant Raw Material*, — P. 293-304. <https://orcid/10.14258/jcprm.2019045130>. (in Russian)

Vernaya O.I., Peisikova A.V., Fuki M.K., Shabatin V.P., Shabatina T.I. (2019) Vliyanie reaktsionnykh uslovii na protsess obrazovaniya nanochastits jeleza pri vosstanovlenii ionov jeleza (III) borgidridom natriya [The effect of reaction conditions on the formation of iron nanoparticles during the reduction of iron (III) ions with sodium borohydride]. *Bulletin of the Moscow University. Series. 2. Chemistry*, — N 6 (60). — P. 430-434. (in Russian)

Deniz İ. (2020) Determination of growth conditions for *Chlorella vulgaris*. *Marine Science and Technology Bulletin*, — 9(2). — P. 114-117. <https://orcid/10.33714/masteb.717126> (in English)

Dudina Yu.A., Kalashnikova E.A., Kirakosyan R.N. (2023) Sozдание fotobioreaktora dlya effektivnogo rosta hlorelly i izuchenie vliyaniya spektralnogo sostava sveta na ee biomassu [Creation of a photobioreactor for efficient *Chlorella* growth and study of the effect of the spectral composition of light on its biomass]. *Timiryazevsky Biological Journal*, — 1. — P. 15-22. <https://orcid/10.26897/2949-4710-2023-1-15-22> (in Russian)

Gasanova F. V. (2019) Vliyanie nanochastich na fiziologicheskie harakteristiki i aktivnost' fermentov rastenij, vyrashchennykh v solenyykh pochvah. *Byulleten' nauki i praktiki*, — 5:2. — P. 142-151. <https://orcid/10.33619/2414-2948/39/19> (in English)

Hisham F., Maziati Akmal M., Ahmad F., Ahmad K., Samat N. (2024) Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal*, — 15:2. — P. 102424. <https://orcid/10.1016/j.asej.2023.102424> (in English)

Hussain A., Yasar M., Ahmad G., Ijaz M., Aziz A., Gharib Nawaz M., Ahmad Khan F., Iqbal H., Shakeel W., Momand H., Ali R., Ahmad S., Shah H., Nadeem M., Ahmad D., Anjum F., Faisal S. (2023) Synthesis, characterization, and applications of iron oxide nanoparticles. *International Journal of Health Sciences*, — 17:4. — P. 3-10. (in English)

Iriani D., Feliatra H., Karnila R., Chaiyanate N., Rozi. (2024) Effect of Media Formulations on Chlorophyll, Antioxidant Activity of *Chlorella vulgaris* and Its Potential as a Health Supplement. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, — 17(1). <https://orcid/10.20473/jipk.v17i.157014> (in English)

Jaha H.F., Anwar Y., Al-Maaqar S.M., Kamal T., Khan S.B. (2024) Iron-Based Nanoparticles Synthesis, Characterization, and Antimicrobial Effectiveness. *Adv. Life Sci.*, — 11(2). — P. 525-532. <https://orcid/10.62940/als.v11i2.3096> (in English)

Jiménez-Gómez C., Cecilia Ju. (2020) Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*, — 25(17). — P. 3981. <https://orcid/10.3390/molecules25173981> (in English)

Kendirlioglu S., Kadri C. (2019) Effect on nitrogen sources on growth, protein, total lipid amount and pigment content in *Chlorella vulgaris*. *Fresenius Environmental Bulletin*, — No. 4A (28). — P. 3065-3072. (in English)

Kumar V., Kumar Kaushik N., Tiwari S.K., Singh D., Singh B. (2023) Green synthesis of iron nanoparticles: Sources and multifarious biotechnological applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, — 253:4. — P. 127017. <https://orcid/10.1016/j.ijbiomac.2023.127017> (in English)

Lyalina T.S., Lunkov A.P., Varlamov V.P. (2022) Poluchenie nanochastits metallov s ispolzovaniem vosstanavlivayushih agentov i hitozana [Production of metal nanoparticles using reducing agents and chitosan]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, — T. 58, № 2. — P. 108-116. <https://orcid/10.31857/S0555109922020131> (in Russian)

Protas S.A., Bogomolova N.A., Tyukova I.S. (2014) Stabilizatsiya zolei nanochastits oksida jeleza v rastvorah hitozana raznoi kontsentratsii [Stabilization of sols of iron oxide nanoparticles in chitosan solutions of different concentrations]. *Problems of theoretical and experimental chemistry: Abstracts of the XXIV Russian Youth Scientific Conference dedicated to the 170th anniversary of the discovery of the chemical element ruthenium*. — P. 31-32. (in Russian)

Xu W., Yang T., Liu Sh., Du L., Chen Q., Li X., Dong J., Zhang Zh., Lu S., Gong Y., Zhou L., Liu Y., Tan X. (2022) Insights into the Synthesis, types and application of iron Nanoparticles: The overlooked significance of environmental effects. *Environment International*, — 158. — P. 106980. <https://orcid/10.1016/j.envint.2021.106980> (in English)

Yuniarti A., Fakhri M., Arifin N. B., & Hariati A. M. (2023) Effects of Various Nitrogen Sources on the Growth and Biochemical Composition of Chlorella sp. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, — 15(2). — P. 448–457. <https://orcid/10.20473/jipk.v15i2.43182> (in English)

Plutakhin G.A., Machneva N. L., Trokhimchuk N.N. (2017) Intensifikatsiya kultivirovaniya hlorelly s ispolzovaniem nanochastits jeleza [Intensification of chlorella cultivation using iron nanoparticles]. *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, — N 126(02). <https://orcid/10.21515/1990-4665-126-054> (in Russian)

Ponnuswamy I., Madhavan S. and Shabudeen S. (2013) Isolation and Characterization of Green Microalgae for Carbon Sequestration, Waste Water Treatment and Bio-fuel Production. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, — 5:2. — P. 17-26. (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 23.06.2025.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 2.