

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

2024 • 2



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ

**HALYK**

CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ  
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

# БАЯНДАМАЛАРЫ

## ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»  
ЧФ «ХАЛЫҚ»

## REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



## ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,  
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

**РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы**, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

**РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы**, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

**ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Хамдар университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЫМ Анна**, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

**ТИГИНИАНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

**КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСНОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«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.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

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

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

**РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич**, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендрович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

**АБНЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

**ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

**ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЫМ Анна**, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нургали Жаббаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

**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 о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

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

## EDITOR IN CHIEF:

**BENBERIN Valery Vasilievich**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

## EDITORIAL BOARD:

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

**RAMANKULOVA Erlan Mirkhaidarovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

**SANG-SOO Kwak**, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

**BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

**ABIYEV 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), H = 14

**LOKSHIN Vyacheslav Notanovich**, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

**SEMENOV Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

**TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

**MALM Anna**, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

**BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

**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. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC  
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 2. Number 350 (2024), 183–197

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.288>

MPHTI 34.15.19

© **G.M. Madybekova**<sup>1\*</sup>, **T.T. Turebayeva**<sup>2</sup>, **B.Zh. Mutaliev**<sup>2</sup>, **D.M. Lesbekova**<sup>2</sup>,  
**A.B. Issayeva**<sup>3</sup>, 2024

<sup>1</sup>South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov, Kazakhstan,  
Shymkent;

<sup>2</sup>South Kazakhstan University named after M. Auezov, Kazakhstan, Shymkent;

<sup>3</sup>Kazakh-British Technical University, Kazakhstan, Almaty.

E-mail: [Galiya56@list.ru](mailto:Galiya56@list.ru)

## ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW

**Madybekova Galiya Mutalievna** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov. 160012 Shymkent, Kazakhstan

E-mail: [galiya56@list.ru](mailto:galiya56@list.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>;

**Mutaliev Botagoz Zhaksylykovna** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, South Kazakhstan University named after M. Auezov. 160012, Shymkent, Kazakhstan

E-mail: [mbota@list.ru](mailto:mbota@list.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5295-4410>;

**Turebayeva Tamila Timurkyzy** — PhD student, South Kazakhstan University named after M. Auezov. 160012, Shymkent, Kazakhstan

E-mail: [tamilaturebayeva@gmail.com](mailto:tamilaturebayeva@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1047-1108>;

**Lesbekova Dana Maratkyzy** — master's student, South Kazakhstan University named after M. Auezov. 160012, Shymkent, Kazakhstan

E-mail: [lesbekova101@gmail.com](mailto:lesbekova101@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-5997-9441>;

**Issayeva Assem Bakhytzhanovna** — PhD, Scientific researcher, Kazakh-British Technical University. 050000 Almaty, Kazakhstan

E-mail: [isa-aseem@mail.ru](mailto:isa-aseem@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>.

**Abstract.** This article presents an overview of microencapsulation methods, focusing on the emulsification method and spray drying. The use of microcapsules in various fields, including medicine, food and cosmetic industries, is considered. An important aspect is to ensure the uniformity and stability of microcapsules, as this is critical for efficient delivery of active substances. Particular attention is paid to the membrane emulsification method, which makes it possible to create microcapsules with high monodispersity. The advantages of this method are highlighted in a study involving phage encapsulation using microspheres. This method is scalable and provides a tool for precise delivery of active substances. Limitations of spray drying such as loss of volatile compounds and change in particle size are also considered. In the context of this problem, Fernandez, Borges and Botrel propose the use of gum arabic to improve the quality of microcapsules and protect core materials from oxidation. The final analysis of various microencapsulation methods and proposed solutions allows a better understanding of the advantages and limitations of this technology, as well as its potential for innovation in modern industry and scientific research.

**Keywords:** Microencapsulation, essential oils, enzymes, probiotics, controlled release, protection, encapsulation methods

**Financing.** *The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant no. AP19679879).*

**Conflict of interest:** *The authors declare that there is no conflict of interest*

© Г.М. Мадыебекова<sup>1\*</sup>, Т.Т. Туребаева<sup>2</sup>, Б.Ж. Муталиева<sup>2</sup>, Д.М. Лесбекова<sup>2</sup>,  
А.Б. Исаева<sup>3</sup>, 2024

<sup>1</sup>Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті,  
Шымкент, Қазақстан;

<sup>2</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

<sup>3</sup> Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: Galiya56@list.ru

## БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ

**Мадыебекова Ғалия Мүтәліқызы** — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: galiya56@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>;

**Муталиева Ботагөз Жақсылыққызы** — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: mbota@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5295-4410>;

**Туребаева Тамила Тимурқызы** — PhD докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: tamilaturebayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1047-1108>;

**Лесбекова Дана Маратқызы** — магистрант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

E-mail: lesbekova101@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-5997-9441>;

**Исаева Асем Бахытжанқызы** — PhD, Қазақстан-Британ техникалық университетінің ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан

E-mail: isa-aseм@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>.

**Аннотация.** Бұл мақалада эмульгациялау және шашыратқыш кептіру әдістеріне назар аударатын отырып, микрокапсуляция әдістеріне шолу берілген. Микрокапсулаларды әртүрлі салаларда, соның ішінде медицинада, тамақ өнеркәсібінде және косметикада қолдану қарастырылған. Маңызды аспект микрокапсулалардың біркелкілігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады, өйткені бұл белсенді заттардың тиімді жеткізілуі үшін өте маңызды. Мембраналық эмульсия әдісіне ерекше назар аударылады, бұл монодисперстілігі жоғары микрокапсулаларды жасауға мүмкіндік береді. Бұл әдістің артықшылықтары микросфералардың көмегімен фагтарды инкапсуляциялауды қамтитын зерттеуде көрсетілген. Бұл әдіс ауқымды және белсенді заттарды дәл жеткізу құралын қамтамасыз етеді. Ұшқыш қосылыстардың жоғалуы және бөлшектердің өлшемдерінің өзгеруі сияқты бүркумен кептірудің шектеулері де қарастырылады. Осы мәселенің контекстінде Фернадес, Борхес және Ботрель микрокапсулалардың сапасын жақсарту және негізгі материалдарды тотығудан

қорғау үшін араб сағызын пайдалануды ұсынады. Өртүрлі микрокапсуляция әдістерін және ұсынылған шешімдерді қорытынды талдау осы технологияның артықшылықтары мен шектеулерін, сондай-ақ оның заманауи өнеркәсіп пен ғылыми зерттеулердегі инновациялар үшін әлеуетін жақсырақ түсінуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** микрокапсуляция, эфир майлары, ферменттер, пробиотиктер, бақыланатын босату, қорғау, инкапсуляция әдістері

**Қаржыландыру.** *Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті (грант № AP19679879) қаржыландырады.*

**Мүдделер қақтығысы:** *Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.*

© Г.М. Мадыбекова<sup>1\*</sup>, Т.Т. Туребаева<sup>2</sup>, Б.Ж. Муталиева<sup>2</sup>, Д.М. Лесбекова<sup>2</sup>,  
А.Б. Исаева<sup>3</sup>, 2024

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский педагогический университет имени О.Жанибекова, Шымкент, Казахстан;

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

<sup>3</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: Galiya56@list.ru

## ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗОР

**Мадыбекова Галия Муталиевна** — кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский педагогический университет имени О. Жанибекова, Шымкент, Казахстан

E-mail: galiya56@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>;

**Муталиева Ботагоз Жаксылыковна** — кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

E-mail: mbota@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5295-4410>;

**Туребаева Тамила Тимурқызы** — PhD студент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

E-mail: tamilaturebayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1047-1108>;

**Лесбекова Дана Маратқызы** — магистрант, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

E-mail: lesbekova101@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-5997-9441>;

**Исаева Асем Бахытжановна** — PhD, научный сотрудник, Казахстанско-Британский Технический Университет. 050000 Алматы, Казахстан

E-mail: isa-aseм@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>.

**Аннотация.** Данная статья представляет обзор методов микрокапсулирования, фокусируясь на методе эмульгирования, ионотропного гелеобразования и распылительной сушке. Рассматривается применение микрокапсул в различных областях, включая медицину, пищевую и косметическую промышленности. Важным аспектом является обеспечение равномерности и стабильности микрокапсул, так как это критически важно для эффективной доставки активных веществ. Особое внимание уделено методу мембранного эмульгирования, который позволяет создавать микрокапсулы с высокой моносферностью. Пре-

имущества этого метода подчеркиваются на примере исследования, включающего инкапсуляцию фагов с использованием микросфер. Этот метод обладает масштабируемостью и предоставляет инструмент для точной доставки активных веществ. Также рассматриваются ограничения распылительной сушки, такие как потеря летучих соединений и изменение размера частиц. В контексте этой проблемы авторы Фернандес, Боргес и Ботрель предлагают использование гуммиарабика для улучшения качества микрокапсул и защиты материалов сердцевинки от окисления. Итоговый анализ различных методов микрокапсулирования и предложенных решений позволяет лучше понять преимущества и ограничения данной технологии, а также её потенциал для инноваций в современной промышленности и научных исследованиях.

**Ключевые слова:** микрокапсулирование, эфирные масла, ферменты, пробиотики, контролируемое высвобождение, защита, методы инкапсуляции

**Финансирование.** Исследование финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679879).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Введение**

Микроинкапсуляция, универсальная технология, включающая включение активных агентов в защитные матрицы, привлекла значительное внимание в различных отраслях промышленности благодаря своей способности решать проблемы, связанные с контролируемым высвобождением, стабильностью и адресной доставкой различных агентов. В данной статье углубимся в мир микроинкапсуляции и изучим ее потенциальное применение для инкапсулирования различных агентов.

Современные технологии микрокапсулирования предоставляют уникальные решения для различных областей применения, от медицины до пищевой и косметической промышленности. Микрокапсулы, микроскопические оболочки, содержащие активные вещества, обеспечивают контролируемое высвобождение и защиту от воздействия внешних факторов. Это позволяет значительно расширить возможности применения активных компонентов и улучшить свойства продуктов (Doering и др., 2022).

Однако, несмотря на многообещающие перспективы микрокапсулирования, существуют определенные вызовы и ограничения, которые требуют дальнейших исследований и разработок. Один из таких вызовов – это обеспечение устойчивости и равномерности микрокапсул, что имеет критическое значение для успешной реализации многих приложений. Особенно это актуально при использовании метода эмульсий, который, хотя и является популярным, имеет потенциальные проблемы с неоднородностью размеров капсул.

В данной статье мы рассмотрим метод мембранного эмульгирования, который представляет собой надежный подход к созданию микрокапсул с улучшенной равномерностью и размерами, подходящими для специфических потребностей. Преимущества этого метода, такие как высокая монодисперсность и управляемые параметры процесса, делают его привлекательным инструментом для создания стабильных микрокапсул (Nauman и др., 2019).

Однако стоит также обратить внимание на ограничения и проблемы, связанные с другим распространенным методом – распылительной сушкой. Несмотря на ее преимущества, такие как долгий срок хранения и простота обращения, у неё есть свои ограничения, такие как потеря летучих соединений и изменение размера частиц.

Эта статья анализирует различные методы микрокапсулирования, показывает их преимущества и ограничения, а также представляет возможное решение для улучшения стабильности и равномерности микрокапсул. В результате этого анализа можно будет лучше понять потенциал микрокапсулирования и его роль в современной науке и промышленности.

#### Методы микрокапсулирования

Метод эмульгирования включает образование эмульсий, в которых активные агенты диспергированы в непрерывной фазе с использованием эмульгатора. Эмульсия впоследствии затвердевает посредством охлаждения или химического сшивания, что приводит к образованию микрокапсул. Этот метод широко используется для инкапсулирования эфирных масел, обеспечения защиты от окисления и испарения и обеспечения контролируемого высвобождения в различных областях применения (Sugeng и др., 2020).

Процесс микрокапсулирования начинается с создания эмульсии — смешивания двух несмешивающихся жидкостей, обычно воды и масла, с помощью эмульгатора, который обеспечивает стабильность этой смеси. Далее, к этой эмульсии добавляют материал для образования оболочки капсулы. В случае метода эмульсий для микрокапсулирования чаще всего используют полимеры, такие как альгинаты, гелевая оболочка из которых образуется в процессе дальнейшего обработки.

Важной частью процесса является процедура, называемая «закаливание» (или «перекрещивание»), которая способствует образованию стойкой оболочки вокруг микрокапсулы. Это может происходить, например, за счет введения кросс-связывающих агентов, которые образуют структуру внутри материала оболочки, делая ее более прочной и стабильной (Guo и др., 2020).

После завершения процесса микрокапсулирования получают микроскопические капсулы, внутри которых заключены активные вещества, такие как лекарственные препараты, ароматизаторы, красители или другие биологически активные компоненты. Эти микрокапсулы могут контролируемо высвободить активные вещества по мере изменения условий окружающей среды, что делает их ценными в индустрии искусственной доставки и улучшения свойств различных продуктов.

Согласно авторам Алессандра Имброньо, Эмма Пьячентини, Энрико Дриоли, Лидиетта Джорно, мембранное эмульгирование считается лучшим методом эмульгирования благодаря его преимуществам, таким как простота, потенциально более низкие энергозатраты и возможность контролировать размер капель, в первую очередь за счет выбора мембраны. Он предлагает большой потенциал в производстве эмульсий «на заказ» и других твердых частиц. Мембранные системы особенно подходят для крупномасштабного производства, поскольку их можно легко масштабировать за счет увеличения количества небольших технологических установок (рисунок 1).



Рисунок 1 – Принципиальная схема получения микрокапсул по методу А. Имброньо, Э. Пьячентини, Э. Дриоли, Л. Джорно

1 – Этап создания эмульсии с использованием гомогенизатора; 2 – Этап добавления кросс связывающих полимеров; 3 – Этап получения микрокапсул

Этот метод был успешно применен для получения микросфер и микрокапсул с использованием различных полимеров, в том числе сложных полиэфиров, таких как поликапролактон (Imbrogno и др., 2015).

Вещества, которые можно микрокапсулировать эмульсионным методом:

Фармацевтические соединения: Эмульсионный метод можно использовать для микрокапсулирования фармацевтических соединений, таких как вакцины, белки, антибиотики и другие гидрофильные препараты.

Полимерные материалы: Эмульсионные методы использовались для микроинкапсуляции сложных полиэфиров, полученных из молочной и гликолевой кислот, таких как поликапролактон (PCL). Микрочастицы PCL были успешно получены с использованием метода диффузии эмульсии/растворителя.

Органические растворители: Эмульсионный метод позволяет микроинкапсулировать вещества, растворенные в органических растворителях, частично растворимых в воде. Растворитель эмульгируется в водной фазе, а последующая диффузия растворителя во внешнюю фазу приводит к затвердеванию полимера внутри капель.

Пептиды и белки. Было обнаружено, что поликапролактон обладает хорошей проницаемостью для белков, что делает его подходящим носителем для доставки вакцин. Эмульсионный метод можно использовать для микроинкапсуляции пептидов и белков, обеспечивая их стабильность и контролируемое высвобождение.

Соединения, чувствительные к температуре: Хотя метод распылительной сушки не подходит для инкапсулирования чувствительных к температуре соединений, метод эмульсии представляет собой жизнеспособную альтернативу. Это позволяет контролировать инкапсуляцию таких соединений, не подвергая их воздействию высоких температур.

Эмульгирование является эффективным методом получения мелких капель с относительно узким распределением по размерам. Это позволяет производить монодисперсные микрокапсулы, которые могут более легко имитировать кинетику высвобождения лекарственного средства (Piacentini и др., 2017).

Однако традиционный метод эмульсии, используемый для эмульгирования, может привести к трудностям в приготовлении микрокапсул небольшого размера и узкого распределения. Контроль многих параметров, участвующих в этом методе, может быть сложной задачей, что приводит к колебаниям качества микрокапсул.

Одним из главных недостатков метода эмульсий для микрокапсулирования является потенциальная неоднородность размеров капсул. В ходе процесса формирования микрокапсул разного размера может привести к проблемам при конкретных применениях, требующих высокой равномерности размеров (Wilson и др., 2021).

Другой важной проблемой может быть нестабильность эмульсий. Внутренние фазы, такие как масло и вода, могут разделяться со временем, что может вызвать несоответствие размеров и свойств капсул. Это может быть особенно критично, если требуется долговременная стабильность капсул.

Также следует учитывать, что выбор правильных эмульгаторов – важный аспект. Ошибочный выбор эмульгаторов может влиять на стабильность капсул и даже на вкус, запах или другие характеристики конечного продукта.

Микрокапсуляция также может привести к потере активных веществ, особенно если они нестабильны или чувствительны к высоким температурам или механическому воздействию в процессе. Метод эмульсий микрокапсулирования требует специализированного оборудования и экспертизы для его эффективного использования, что также может быть дополнительным ограничением в практической реализации.

Несмотря на эти недостатки, метод эмульсий для микрокапсулирования остается важным инструментом для контролируемой доставки активных веществ в различных областях и может быть успешно применен с учетом и минимизацией ограничений, а также с установленным контролем качества (Jamekhorshid и др., 2014).

Мембранное эмульгирование предлагает несколько преимуществ по сравнению с обычными методами эмульгирования, такими как перемешивание или обработка ультразвуком. Это позволяет производить небольшие и относительно более монодисперсные микрокапсулы. Этот метод особенно полезен для получения небольших и однородных по размеру микрокапсул, что важно для систем доставки лекарств.

В исследовании Г.К. Виннера, К. Ричардс, М. Леппанен, А.П. Сагона и Д.Дж. Малик (Vinner и др., 2019) использовалось мембранное эмульгирование для приготовления микросфер с инкапсулированными фагами в эмульсии вода-в-масле с контролируемым размером капель (рисунок 2).

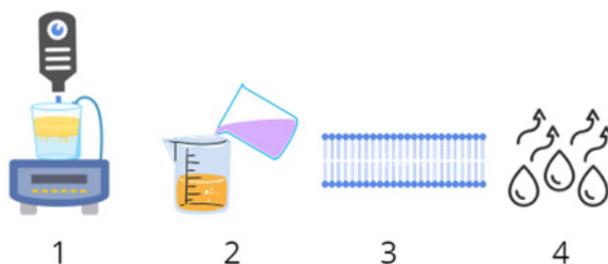


Рисунок 2 – Принципиальная схема получения микрокапсул по методу Г. К. Виннера, К. Ричардс, М. Леппанен, А. П. Сагона и Д. Дж. Малик

1 – Этап создания эмульсии с использованием гомогенизатора; 2 – Введение в эмульсию материала для образования оболочки капсулы, такого как полимеры (например, альгинаты); 3 – Процесс мембранного эмульгирования; 4 – Получение микрокапсул методом распылительной сушки

Размер капель варьировался приблизительно от 100 до 300 мкм. Процесс был масштабируемым, что позволяло производить большие промышленные количества однородных маленьких микрокапсул, подходящих для перорального введения мелким животным, таким как мыши и крысы. Этот метод инкапсуляции направлен на защиту фагов от кислотности желудка и обеспечение доставки высоких доз фагов в определенные отделы кишечника, нацеленные на очаг инфекции в нижних отделах желудочно-кишечного тракта.

Эффективность инкапсуляции фагов с использованием процесса мембранного эмульгирования составила почти 100 %. Полученные микрочастицы гидрогеля со средним размером чуть более 100 мкм реагировали на pH, высвобождая инкапсулированные фаги при воздействии pH 7, что делало их подходящими для применения в желудочно-кишечном тракте.

Исследование выявило потенциальные преимущества динамики контролируемого высвобождения, достигаемой за счет микроинкапсуляции, что позволяет точно доставлять высокие концентрации микроорганизмов для эффективного уничтожения бактерий. Фаги, высвобожденные из микрочастиц, продемонстрировали эффективность, сравнимую со свободными фагами при тех же уровнях доз при воздействии на бактериальные культуры (Colom и др., 2017).

Исследование показало важность размера частиц, состава и pH-чувствительных характеристик для защиты микроорганизмов и обеспечения контролируемого высвобождения в сложной кислой среде желудка. Подход к инкапсуляции с использованием мембранного эмульгирования показал себя многообещающим в преодолении этих препятствий и потенциальном повышении терапевтической эффективности лечения бактериальных инфекций на основе фагов, а также в обеспечении масштабируемого производственного процесса.

Данное исследование дает возможность утверждать, что метод микрокапсуляции мембранного эмульгирования живых микроорганизмов является оптимальным по многим критериям. Двойная оболочка микрокапсулы (наночастицы) помогает защитить ядро с микроорганизмами от воздействия таких факторов как кислая среда желудочно-кишечного тракта (Colom и др., 2017).

Метод ионотропного гелеобразования — это один из способов микрокапсулирования, использующий особенности взаимодействия полимерных материалов с ионами в растворе для образования гелевой оболочки вокруг активных веществ. Этот метод находит применение в различных областях, таких как фармацевтика, косметика, пищевая промышленность и многие другие (Mouga и др., 2018).

Процесс микрокапсулирования методом ионотропного гелеобразования начинается с приготовления эмульсии, в которой активное вещество или материал, который нужно заключить, распределен в диспергированной фазе (обычно масле или воде), а оболочка капсулы формируется вокруг этой диспергированной фазы с использованием ионов, которые образуют гель из полимерного материала в

растворе.

Процесс образования гелевой оболочки может происходить в условиях комнатной температуры, что делает его относительно мягким и подходящим для включения биологически активных веществ, которые могут быть чувствительны к высоким температурам (Hosseini и др., 2013).

Преимущества метода ионотропного гелеобразования включают возможность контролировать толщину оболочки, варьируя концентрацию ионов и характеристики полимеров, а также обеспечивать устойчивость капсул к внешним воздействиям. Этот метод также позволяет достичь высокой эффективности микрокапсулирования, что особенно важно для сохранения активных веществ внутри капсулы.

Однако важно учитывать, что выбор полимеров и ионов, а также оптимизация условий процесса, могут быть критическими для успешной микрокапсуляции. Неконтролируемое освобождение активных веществ из капсул или низкая стабильность капсул могут быть вызваны неправильным подбором компонентов или условий образования оболочки (Otalora и др., 2016).

В исследовании Phui Yee Tan, a Tai Boon Tan, b Hon Weng Chang использовали эмульсию Пикеринга в качестве прекурсора для образования микрокапсул (Tan и др., 2021). Тщательно манипулируя ключевыми параметрами, такими как pH, время гелеобразования и концентрация альгината, а также увеличивая сшивание с использованием более высокого содержания хитозана (0,5%), они успешно производили однородные и сферические микрокапсулы, которые сохраняли свою структурную жесткость даже после процесса сушки (рисунок 3).

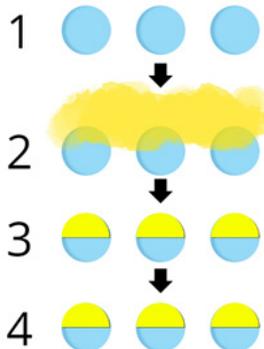


Рисунок 3 – Принципиальная схема получения микрокапсул методом Эмульсии Пикеринга

Полученные микрокапсулы показали улучшенную эффективность инкапсуляции масла (EE) и более высокую эффективность загрузки масла (LE). Комбинация эмульгирования Пикеринга и ионотропного гелеобразования позволила эффективно улавливать пальмовые токотриенолы в биосовместимом продукте. Примечательно, что использование карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), который чувствителен к pH, предполагает потенциальное применение для доставки токотриенолов в различные пищевые продукты, особенно те, которые требуют контролируемого высвобождения при определенных условиях pH.

Метод ионотропного гелеобразования представляет собой эффективный подход для микрокапсулирования различных веществ, особенно тех, которые могут взаимодействовать с ионами для образования гелевых оболочек. Этот метод

находит широкое применение в разных областях, таких как фармацевтика, пищевая промышленность, косметика и биомедицина.

Кроме того, метод ионотропного гелеобразования позволяет микрокапсулировать витамины, нутрацевтики и натуральные экстракты, что обеспечивает контролируемое высвобождение в пищевых продуктах, диетических добавках и косметических средствах (Liu и др., 2013).

Важно отметить, что этот метод также подходит для микрокапсулирования микроорганизмов, включая пробиотики, для доставки в функциональных продуктах питания или в медицинских приложениях.

Вещества, наиболее подходящие для микрокапсулирования методом ионотропного гелеобразования, включают биологически активные соединения, такие как протеины, пептиды, ферменты и факторы роста, а также фармацевтические препараты с заряженными группами. Нуклеиновые кислоты, включая ДНК и РНК, также могут быть успешно капсулированы для применений в генной терапии.

Важно отметить, что этот метод также подходит для микрокапсулирования микроорганизмов, включая пробиотики, для доставки в функциональных продуктах питания или в медицинских приложениях (Gu и др., 2019).

Несмотря на множество преимуществ, такие как контролируемое высвобождение, биосовместимость и разнообразие применений, метод ионотропного гелеобразования может потребовать оптимизации параметров процесса для достижения наилучших результатов. Тем не менее, его потенциал для микрокапсулирования биоактивных веществ делает его важным инструментом в разработке продуктов с улучшенной контролируемой доставкой активных компонентов в различных областях.

Метод ионотропного гелеобразования остается интересной и перспективной техникой в области микрокапсулирования и может быть использован для разработки инновационных продуктов с контролируемой доставкой активных веществ. Метод ионотропного гелеобразования: Преимущества: Методы ионотропного гелеобразования, такие как формирование микрокапсул альгината кальция, предлагают мягкий и не содержащий растворителей подход к микрокапсулированию. Эти методы включают сочетание полиэлектролита с многовалентным ионом противоположного заряда. Они подходят для получения микрокапсул в мягких условиях (Jagtap и др., 2016).

Несмотря на множество преимуществ, такие как контролируемое высвобождение, биосовместимость и разнообразие применений, метод ионотропного гелеобразования может потребовать оптимизации параметров процесса для достижения наилучших результатов. Тем не менее, его потенциал для микрокапсулирования биоактивных веществ делает его важным инструментом в разработке продуктов с улучшенной контролируемой доставкой активных компонентов в различных областях. Метод ионотропного гелеобразования может не обеспечивать такого контроля желаемых свойств микрокапсул по сравнению с другими методами. Оптимизация мембраны по всем желаемым свойствам с использованием простого процесса может оказаться сложной задачей.

Распылительная сушка включает преобразование жидкой суспензии активных агентов и материала покрытия в высушенные частицы путем распыления их в потоке горячего воздуха. Этот метод широко используется для инкапсуляции

эфирных масел, ферментов и пробиотиков, предлагая высокую эффективность инкапсуляции и превосходный контроль над размером частиц и характеристиками высвобождения. Распылительная сушка – это метод микрокапсулирования, который включает приготовление эмульсии с последующим удалением растворителя путем выпаривания в процессе сушки. Это одностадийный процесс, при котором эмульсия высушивается распылением, в результате чего образуются твердые микрокапсулы. Этот метод предлагает несколько преимуществ, включая простоту, хороший контроль параметров процесса и масштабируемость. Микросферы, полученные распылительной сушкой, могут демонстрировать устойчивое или более медленное высвобождение лекарственного средства по сравнению с обычными методами распылительной сушки. Однако важно отметить, что микросферы, полученные с использованием этого метода, могут подвергаться механическому напряжению сдвига и термическому напряжению в процессе сушки.

Распылительная сушка представляет собой широко используемый промышленный процесс преобразования жидких веществ, обычно растворов, суспензий или эмульсий, в сухие порошки или твердые частицы. Этот метод используется в различных отраслях промышленности, включая пищевую, фармацевтическую, химическую и сырьевую, благодаря его способности преобразовывать термочувствительные, термолабильные или чувствительные соединения в стабильные, легко транспортируемые и стабильные формы (Al-Khattawi и др., 2018).

Процесс распылительной сушки включает в себя несколько основных этапов:

**Распыление:** жидкий корм распыляется на мельчайшие капли с помощью сопла или распылителя. Это создает большую площадь поверхности для быстрого высыхания.

**Сушильная камера:** Распыленные капли вводятся в сушильную камеру, где они вступают в контакт с потоком горячего воздуха или газа. Высокое отношение поверхности к объему капель способствует быстрому испарению растворителя или жидкости-носителя.

**Сушка и образование частиц:** когда капли проходят через сушильную камеру, тепло заставляет растворитель испаряться, оставляя после себя твердые частицы или порошок. Затвердевшие частицы собираются на дне сушильной камеры, а испарившийся растворитель обычно удаляют с помощью газового потока.

**Сбор частиц:** высушенные частицы собираются с использованием различных методов, таких как циклонные сепараторы, рукавные фильтры или электростатические осадители, в зависимости от размера и свойств частиц (Sosnik и др., 2015).

Распылительная сушка имеет ряд преимуществ:

**Сохранение свойств:** процесс быстрой сушки сводит к минимуму воздействие высоких температур, что делает его пригодным для термочувствительных веществ, таких как ферменты, пробиотики и витамины, сохраняя их биологическую активность.

**Улучшенная растворимость:** полученные порошки часто имеют повышенную растворимость благодаря мелкому размеру частиц, что может быть

полезным в фармацевтических составах и продуктах быстрого приготовления.

Долгий срок хранения доступная транспортировка: высушенные распылением продукты обычно имеют более длительный срок хранения по сравнению с жидкими формами, что снижает потребность в охлаждении и снижает транспортные расходы.

Несмотря на свои преимущества, сушка распылением имеет некоторые ограничения:

Потеря летучих соединений: хрупкие соединения с высокой летучестью могут теряться в процессе.

Изменение размера частиц: Достижение узкого распределения размера частиц может быть сложной задачей, особенно при работе с липкими веществами или продуктами, склонными к агломерации.

Стоимость оборудования: оборудование для распылительной сушки может быть дорогим в приобретении и эксплуатации, что может быть проблемой для мелкосерийного производства.

Для преодоления проблемы потери некоторых соединений в процессе распылительной сушки исследователем Р.В. де Б. Фернандес было предложено использование гуммиарабик, используемый в производстве ароматизаторов, играет важную роль в защите материалов сердцевинки от окисления и улетучивания (Fernandes и др., 2013). Он обладает высокой растворимостью и низкой вязкостью в водных растворах, что делает его предпочтительным для процесса распылительной сушки. Цель этого исследования состояла в том, чтобы оценить, как рабочие условия во время распылительной сушки влияют на свойства микрокапсулированного эфирного масла розмарина.

В целом, распылительная сушка представляет собой универсальный метод с широким промышленным применением, особенно при производстве порошкообразных пищевых продуктов, фармацевтических препаратов и химических веществ, где преобразование жидкостей в стабильные сухие порошки имеет важное значение для стабильности, удобства и эффективности продукта.

#### Результаты и обсуждения

Исследование методов микрокапсулирования, описанных в данной статье, позволяет понять их преимущества, ограничения и потенциал для различных применений. Метод эмульгирования, как показано, широко используется для инкапсулирования эфирных масел и защиты активных веществ от окисления и испарения. Однако, как отмечено, его главным недостатком является неоднородность размеров капсουλ, что может ограничивать определенные применения.

Интересным аспектом является метод мембранного эмульгирования, который считается лучшим в силу своей простоты, потенциально более низких энергозатрат и возможности контролировать размер капель. Это особенно важно в медицинских применениях, где точная доставка активных веществ играет критическую роль. Масштабируемость этого метода делает его перспективным для промышленного производства.

Исследование, в котором использовалось мембранное эмульгирование для инкапсуляции фагов в контролируемой эмульсии вода-в-масло, показывает его успешное применение. Микрокапсулы с инкапсулированными фагами могут быть использованы для доставки высоких доз фагов в определенные отделы кишечника,

что обладает большим потенциалом в борьбе с бактериальными инфекциями. Размер частиц и характеристики оболочки оказываются важными факторами для успешной доставки в сложной кислой среде желудка.

Метод ионотропного гелеобразования также представляет интересную альтернативу, особенно для чувствительных к температуре и гидрофильных соединений. Его способность создавать мягкие и не содержащие растворителей микрокапсулы делает его ценным инструментом для разработки инновационных продуктов с контролируемой доставкой активных веществ.

Распылительная сушка остается важным методом для преобразования термочувствительных соединений в стабильные формы. Использование гуммиарабика для защиты материалов сердцевин микрокапсул в процессе распылительной сушки представляет интересное решение, способное повысить эффективность этого метода.

В целом, разнообразие методов микрокапсулирования предоставляет индустрии широкий набор инструментов для улучшения свойств продуктов и обеспечения контролируемой доставки активных компонентов. Однако важно учитывать ограничения каждого метода и находить оптимальное применение в зависимости от конкретных требований и характеристик инкапсулируемых веществ. Дальнейшие исследования в области улучшения точности и равномерности размеров микрокапсул, а также разработки новых оболочек, могут привести к еще более эффективным и инновационным решениям в сфере микрокапсулирования.

#### Выводы

Исследования методов микрокапсулирования, включая метод эмульгирования и распылительную сушку, подтверждают их важное значение в различных отраслях промышленности и медицине. Метод эмульгирования обеспечивает устойчивость активных агентов и контролируемое высвобождение, особенно с использованием полимерных оболочек, таких как альгинаты.

Мембранное эмульгирование, как указывают авторы Алессандра Имброньо и другие, обладает значительными преимуществами, такими как простота и потенциально более низкие энергозатраты. Этот метод также позволяет контролировать размер капель, что важно для точной инкапсуляции активных веществ.

Метод ионотропного гелеобразования предоставляет мягкий и эффективный способ микрокапсулирования, особенно для чувствительных к температуре и гидрофильных соединений. Этот метод подходит для разработки инновационных продуктов с контролируемой доставкой активных веществ.

Распылительная сушка, несмотря на свои ограничения, остается важным инструментом в промышленности, особенно для преобразования термочувствительных соединений в стабильные формы. Использование гуммиарабика, как предложено исследователями Фернадесом, Боргесом и Ботрелем, улучшает эффективность этого метода, обеспечивая защиту от окисления и сохранность активных веществ.

В целом, методы микрокапсулирования предоставляют широкий спектр возможностей для улучшения свойств различных продуктов и обеспечения контролируемой доставки активных компонентов, что делает их важным инструментом для индустрии искусственной доставки и многих других областей.

## REFERENCES

- Al-Khattawi A., Bayly A., Phillips A. & Wilson D. (2018). The design and scale-up of spray dried particle delivery systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*. — 15. — 47–63. <https://doi.org/10.1080/17425247.2017.1321634> (in Eng.).
- Colom J., Cano-Sarabia M., Otero J.L., Arriñez-Soriano J., Cortés P., MasPOCH D. & Llagostera M. (2017). Microencapsulation with alginate/CaCO<sub>3</sub>: A strategy for improved phage therapy. *Scientific Reports*, — 7. <https://doi.org/10.1038/srep41441> (in Eng.).
- Doering U., Grigoriev D., Tapio K., Bald I. & Böker A. (2022). Synthesis of nanostructured protein-mineral-microcapsules by sonication. *Soft matter*. <https://doi.org/10.1039/d1sm01638e> (in Eng.).
- Gu M., Zhang Z., Pan C., Goulette T., Zhang R., Hendricks G., McClements D. & Xiao H. (2019). Encapsulation of *Bifidobacterium pseudocatenulatum* G7 in gastroprotective microgels: Improvement of the bacterial viability under simulated gastrointestinal conditions. — *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.01.040> (in Eng.).
- Guo J., Hou L., Hou J., Yu J. & Hu Q. (2020). Generation of ultra-thin-shell microcapsules using osmolarity-controlled swelling method. *Micromachines*, — 11. <https://doi.org/10.3390/mi11040444> (in Eng.).
- Hosseini S.M., Hosseini H., Mohammadifar M.A., Mortazavian A.M., Mohammadi A., Khosravi-Darani K., Shojae-Aliabadi S., Dehghan S. & Khaksar R. (2013). Incorporation of essential oil in alginate micro-particles by multiple emulsion/ionic gelation process. *International journal of biological macromolecules*. — 62. — 582–588. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.09.054> (in Eng.).
- Imbrogno A., Dragosavac M.M., Piacentini E., Vladislavljević G.T., Holdich R.G. & Giorno L. (2015). Polycaprolactone multicore-matrix particle for the simultaneous encapsulation of hydrophilic and hydrophobic compounds produced by membrane emulsification and solvent diffusion processes. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*. — 135. — 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.06.071> (in Eng.).
- Fernandes Regiane & Borges Soraia & Botrel Diego (2013). Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. *Food Science and Technology (Campinas)*. — 33. — 171–178. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000500025> (in Eng.).
- Jagtap S., Mohan M. & Shukla P. (2016). Improved performance of microcapsules with polymer nanocomposite wall: Preparation and characterization. *Polymer*. — 83. — 27–33. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2015.12.011> (in Eng.).
- Jamekhorshid A., Sadrameli S.M. & Farid M.M. (2014). A review of microencapsulation methods of phase change materials (PCMs) as a thermal energy storage (TES) medium. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. — 31. — 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.033> (in Eng.).
- Liu L., Wu F., Ju X.J., Xie R., Wang W., Niu C.H. & Chu L.Y. (2013). Preparation of monodisperse calcium alginate microcapsules via internal gelation in microfluidic-generated double emulsions. *Journal of colloid and interface science*. — 404. — 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.044> (in Eng.).
- Moura S., Berling C., Germer S., Alvim I. & Hubinger M. (2018). Encapsulating anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. *Food chemistry*. — 241. — 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.095>.
- Nauman N., Zaquen N., Junkers T., Boyer C. & Zetterlund P. (2019). Particle Size Control in Miniemulsion Polymerization via Membrane Emulsification. *Macromolecules*. <https://doi.org/10.1021/ACS.MACROMOL.9B00447> (in Eng.).
- Otalora M.C., Carriazo J.G., Iturriaga L., Osorio C. & Nazareno M.A. (2016). Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads. *Food chemistry*. — 202. — 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.115> (in Eng.).
- Piacentini E., Dragosavac M.M. & Giorno L. (2017). Pharmaceutical particles design by membrane emulsification: preparation methods and applications in drug delivery. *current pharmaceutical design*, — 23. — 2, — 302–318. <https://doi.org/10.2174/1381612823666161117160940> (in Eng.).
- Sosnik A. & Seremeta K.P. (2015). Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. *Advances in colloid and interface science*. — 223. — 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.05.003> (in Eng.).
- Sugeng D., Ithnin A., Yahya W. & Kadir H. (2020). Emulsifier-Free Water-in-Biodiesel Emulsion Fuel via Steam Emulsification: Its Physical Properties, Combustion Performance, and Exhaust Emission. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en13205406> (in Eng.).
- Tan P., Tan T., Chang H., Mwangi W., Tey B., Chan E., Lai O., Liu Y., Wang Y. & Tan C. (2021). Pickering emulsion-templated ionotropic gelation of tocotrienol microcapsules: Effects of alginate and chitosan

concentrations and gelation process parameters. — *Journal of the science of food and agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11249>. (in Eng.).

Vinner G.K., Richards K., Leppanen M., Sagona A.P. & Malik D.J. (2019). Microencapsulation of enteric bacteriophages in a ph-responsive solid oral dosage formulation using a scalable membrane emulsification process. *Pharmaceutics*. — 11. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11090475> (in Eng.).

Wilson A., Ekanem E.E., Mattia D., Edler K.J. & Scott J.L. (2021). Keratin–chitosan microcapsules via membrane emulsification and interfacial complexation. *acs sustainable chemistry & engineering*, —9. — 16617–16626. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05304> (in Eng.).

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

<b>М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева</b> РУТНОН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	7
<b>Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Тоқтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова</b> Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ.....	17
<b>Г. Бекетова, Н. Жантурина*, З. Аймаганбетова, А. Бекешев</b> ЦЕЗИЙГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚОСАРЛАНҒАН ГАЛОИДТЫ ПЕРОВСКИТТЕРДІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	31
<b>С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин</b> ЖАЛПЫ БӨЛІМДЕРІ ЖӘНЕ ПРОЦЕСС ҚАРҚЫМЫ $n^{12}C$ .....	43
<b>А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова</b> ГИБРИДТІ КҮН КОЛЛЕКТОРЫНДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН БИДИСТИЛЬДЕНГЕН СУ НЕГІЗІНДЕГІ $TiO_2/Al_2O_3$ ГИБРИДТІ НАНОСҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	52
<b>А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов</b> СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫН НЕГІЗІНДЕГІ ФОТОСЕЗІМТАЛ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	63
<b>Е.Т. Кожажулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Үсіпов, К.Т. Көпбай</b> АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ.....	73
<b>Е.М. Мырзакулов, А.С. Бұланбаева</b> ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....	84
<b>Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Ғазизова</b> ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	95
<b>А. Серебрянский, А. Халикова</b> МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНЫП ШОЛУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТІ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫНАН АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫ ІЗДЕУ.....	103

ХИМИЯ

<b>Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Жұмаділлаева, М.О. Алтынбекова</b> ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ВИСМУТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖИЛПІ МЕН ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	116
<b>Е.Г. Гилязов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот</b> ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРАТЫН ОКСИГЕНАТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	127

<b>Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай</b> ХИМИЯ САБАҚТАРЫНДА ЭЛЕКТРОНДЫҚ БІЛІМ РЕСУРСТАРЫН, ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП ОҚУШЫЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖИЫНТЫҚ БАҒАЛАУ.....	140
<b>Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О. Абилкасова</b> АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ЗЕРТТЕУ.....	152
<b>Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов</b> ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	167
<b>Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева</b> БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ.....	183
<b>Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурызкулова</b> NI-RU ҚҰРАМДЫ КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КОМПОЗИТТЕР ҚҰРАМЫН ЭНЕРГОДИСПЕРСТІ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	198
<b>С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова</b> ӨРТҮРЛІ СҰЙЫЛТУЛАРДАҒЫ АФС ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ФИЗИКА- ХИМИЯЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІКТІ ЗЕРТТЕУ.....	209
<b>А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева</b> ХИМИЯ ПӘНІНЕН ОҚУ-ӘДІСТЕМЕЛІК КЕШЕН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	228
<b>С.Д. Фазылов, О.А. Нұркенов, Ж.С. Нұрмағанбетов, Р.Е. Бәкірова, М.Ж. Жұрынов</b> ЦИКЛОДЕКСТРИНДЕР ХИМИЯЛЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ СУПРАМОЛЕКУЛАЛЫҚ КОНТЕЙНЕРЛЕРІ РЕТІНДЕ.....	241

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

<b>М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTON.....	7
<b>Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Токтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова</b> СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ.....	17
<b>Г. Бекетова, Н. Жантурина, З. Аймаганбетова, А. Бекешев</b> ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ.....	31
<b>С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин</b> ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ РАДИАЦИОННОГО $n^{12}\text{C}$ ЗАХВАТА.....	43
<b>А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ НАНОЖИДКОСТИ $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ НА ОСНОВЕ БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИБРИДНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ.....	52
<b>А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов</b> СОЗДАТЬ И ИССЛЕДОВАТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
<b>Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ.....	73
<b>Е.М. Мырзакулов, А.С. Буланбаева</b> РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА.....	84
<b>Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Газизова</b> ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ.....	95
<b>А. Серебрянский, А. Халикова</b> ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В МОНИТОРИНГОВЫХ И ОБЗОРНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	103

ХИМИЯ

<b>Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Джумадуллаева, М.О. Алтынбекова</b> ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВИСМУТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	116
<b>Е.Г. Гиладжов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот</b> ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА.....	127

<b>Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай</b> СУММАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	140
<b>Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О.Абилкасова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРОДА АЛМАТЫ.....	152
<b>Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ.....	167
<b>Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева</b> ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗ ОР.....	183
<b>Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурзкулова</b> КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ NI-RU – СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	198
<b>С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ АФС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАЗВЕДЕНИЯХ.....	209
<b>А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева</b> НАУЧНО – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ХИМИИ.....	228
<b>С.Д. Фазылов, О.А. Нуркенов, Ж.С. Нурмаганбетов, Р.Е. Бакирова, М.Ж. Журинов</b> ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	241

**CONTENTS**

**PHYSICAL**

<b>M.B. Albatyrova, A.Zh. Alibek, A.S. Zhetpisbayeva</b> MODELING PHYSICAL PHENOMENA USING PYTHON.....	7
<b>N. Beissen, H. Quevedo, S. Toktarbay, M. Zhakipova, M. Alimkulova</b> CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC.....	17
<b>G. Beketova, N. Zhanturina, Z. Aimaganbetova, A. Bekeshev</b> OPTICAL PROPERTIES OF DOUBLE HALIDE PEROVSKITES BASED ON CESIUM.....	31
<b>S.B. Dubovichenko, N.A. Burkova, A.S. Tkachenko, D.M. Zazulin</b> TOTAL CROSS-SECTIONS AND RATE OF $n^{12}\text{C}$ RADIATIVE CAPTURE.....	43
<b>A. Kassymov, A. Adylkanova, A. Bektemissov, K. Astemessova, G. Turlybekova</b> INVESTIGATION OF VISCOSITY PROPERTIES OF $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID NANOFLUID BASED ON BIDISTILLED WATER FOR USE IN A HYBRID SOLAR COLLECTOR.....	52
<b>A.E. Kemelbekova, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit', R.S. Mendykanov, A.K. Shongalova</b> CREATING AND RESEARCH ON PHOTSENSITIVE STRUCTURES USING RARE EARTH METALS.....	63
<b>Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov, N.M. Ussipov, K.T. Kopbay</b> IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY.....	73
<b>Y. Myrzakulov, A. Bulanbayeva</b> A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS.....	84
<b>D.M. Nassirova, V.O. Kurmangaliyeva, A.A. Gazizova</b> SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS.....	95
<b>A. Serebryanskiy, A. Khalikova</b> SEARCH FOR VARIABLE STARS IN MONITORING AND SURVEY PHOTO- METRIC OBSERVATIONS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	103

**CHEMISTRY**

<b>B.S. Abzhalov, A.B. Bayeshov, A.K. Mamyrbekova, S.A. Dzhumadullayeva, M.O. Altynbekova</b> INFLUENCE OF AC FREQUENCY AND DENSITY ON THE ELECTROCHEMI- CAL BEHAVIOR OF BISMUTH ELECTRODE IN AN ACID MEDIUM.....	116
<b>Y.G. Gilazhov, D.K. Kulbatyrov, M.D. Urazgalieva, K.R. Maksot</b> EFFICIENCY OF OXYGENATES ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE.....	127
<b>D. Zh. Kalimanova, A. K. Mendigaliyeva, A.B. Medetova, O.S. Sembay</b> SUMMATIVE ASSESSMENT OF STUDENTS' RESULTS IN CHEMISTRY LESSONS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES, GAME	

TECHNOLOGIES.....	140
<b>L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova</b> STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
<b>B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov</b> OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
<b>G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva</b> ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
<b>B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova</b> QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
<b>S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova</b> STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
<b>A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva</b> SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
<b>S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov</b> CYCLODEXTRINS AS SUPRAMOLECULAR CONTAINERS OF CHEMICAL COMPOUNDS.....	241

## **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](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](http://www.nauka-nanrk.kz)**

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

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

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x88<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.